



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta textilní



# OCHRANA NANOVLÁKENNÉ MEMBRÁNY POMOCÍ NÁNOSU BARVIVA

## Diplomová práce

*Studijní program:* N3957 – Průmyslové inženýrství  
*Studijní obor:* 3901T073 – Produktové inženýrství  
*Autor práce:* **Anna Papežová**  
*Vedoucí práce:* Ing. Roman Knížek





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Textile Engineering



# PROTECTION OF NANOFIBRE MEMBRANE USING PIGMENT APPLICATION

## Diploma thesis

*Study programme:* N3957 – Industrial Engineering  
*Study branch:* 3901T073 – Product Engineering

*Author:* **Anna Papežová**  
*Supervisor:* Ing. Roman Knížek



Tento list nahradte  
originálem zadání.

## Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Romanovi Knížkovi, konzultantovi panu prof. Ing. Jakubovi Wienerovi, Ph.D. a Ing. Bc. Monice Vyšanské, Ph.D. za pomoc a odborné rady, které mi poskytli při tvorbě diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodině a přátelům za podporu po celou dobu studia.

## Anotace

Diplomová práce je zaměřena na tvorbu ochranné vrstvy, pomocí nánosu barviva, na dvouvrstvý textilní laminát s nanovláknennou membránou, určený jako materiál pro outdoorové využití. Pro určení optimálního zakrytí plochy vzorků pro výzkum, bylo vycházeno z obrazové analýzy membrán konkurenčních materiálů opatřených potiskem. Na vzorcích byly zjišťovány vlastnosti důležité pro tento druh materiálů. Nejprve byly mezi sebou porovnány materiály s nanovláknennou membránou a následně byly porovnány vůči konkurenčním materiálům. Konkrétně byly provedeny a vyhodnoceny zkoušky výparného odporu, prodyšnosti vzduchu, hydrostatické odolnosti a odolnosti v oděru.

## Klíčová slova

Nanovláknna, membrána, barvivo, dvouvrstvý laminát, outdoorové oděvy

## Anotation

This diploma thesis is focused on creating a protective layer on two layer textile laminates with nanofibre membrane by application of pigments. Such materials are designed for outdoor usage. The image analysis of competitive membrane materials treated by pigments application was used to determinate the optimal coverage area for research samples. Such kind of materials requires certain characteristics which were tested on given samples. As first, the nanofibre membrane materials were compared to each other and then they were compared to competitive materials. Tests which were performed and evaluated were namely tests of evaporative resistance, air permeability, hydrostatic resistance and abrasion resistance.

## Keywords

Nanofibre, membrane, pigment, two layer laminate, outdoor clothing

## Obsah

Seznam zkratk .....	9
Úvod .....	10
1 REŠERŠNÍ ČÁST .....	12
1.1 Oděvní komfort .....	12
1.1.1 Termofyziologický komfort .....	13
1.2 Vlastnosti outdoorového oblečení .....	14
1.2.1 Propustnost textilií pro vodní páry .....	15
1.2.2 Propustnost textilií pro vzduch .....	16
1.2.3 Hydrostatická odolnost .....	16
1.2.4 Odolnost v oděru .....	17
1.3 Membrány v oděvním průmyslu .....	17
1.3.1 Hydrofobní mikroporézní membrány .....	18
1.3.2 Hydrofilní neporézní membrány .....	21
1.4 Textilní lamináty .....	22
1.4.1 Dvouvrstvý laminát .....	23
1.4.2 Dvouvrstvý laminát s volnou podšívkou .....	24
1.4.3 Dvou a půlvrstvý laminát .....	24
1.4.4 Třívrstvý laminát .....	25
1.4.5 Volně vložená membrána (Z-liner) .....	26
1.5 Teorie tisku .....	26
1.5.1 Tiskařské techniky .....	27
1.5.2 Rozdělení tisku po chemické stránce .....	28
1.5.3 Rozdělení tisku po mechanické stránce .....	29
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	32
2.1 Tvorba ochranné vrstvy na nanovláknennou membránu .....	32
2.1.1 Procentuální zakrytí membrány potiskem .....	32

2.1.2	Potisk nanovláknenné membrány .....	35
2.2	Charakteristika materiálů.....	35
2.2.1	Mikroskopické snímky materiálů .....	36
2.3	Postup při měření .....	43
2.3.1	Měření výparného odporu .....	43
2.3.2	Měření prodyšnosti vzduchu.....	44
2.3.3	Měření hydrostatické odolnosti .....	45
2.3.4	Měření odolnosti v oděru.....	46
2.4	Vyhodnocení měření u laminátu s nanovláknennou membránou.....	48
2.4.1	Výparný odpor .....	48
2.4.2	Prodyšnost vzduchu .....	50
2.4.3	Hydrostatická odolnost.....	51
2.4.4	Odolnost v oděru.....	53
2.5	Vyhodnocení měření laminátu s nanovláknennou membránou s konkurenčními materiály .....	54
2.5.1	Výparný odpor .....	55
2.5.2	Prodyšnost vzduchu .....	57
2.5.3	Hydrostatická odolnost.....	58
2.5.4	Odolnost v oděru.....	59
2.6	Zhodnocení .....	61
	Závěr.....	63
	Použitá literatura .....	65
	Seznam obrázků .....	68
	Seznam tabulek .....	70
	Seznam grafů .....	71
	Seznam příloh .....	72



## Seznam zkratek

Zkratka	Název
t	Teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]
m	Hmotnost [kg]
R	Prodyšnost [l/m/s]
Ret	Výparný odpor [ $\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$ ]
$\varphi$	Relativní vlhkost [%]
q	Tepelný tok [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
q <sub>0</sub>	Plošná hustota tepelného toku procházející měřicí zakrytou hlavicí měřeným vzorkem [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
q <sub>v</sub>	Plošná hustota tepelného toku procházející měřicí nezakrytou hlavicí měřeným vzorkem [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
$\alpha$	Hladina významnosti
H <sub>0</sub>	Nulová hypotéza
H <sub>1</sub>	Alternativní hypotéza
IS	Interval spolehlivosti
např.	Například
obr.	Obrázek
č.	Číslo
PA	Polyamid
PP	Polypropylen
PL	Polyester
PS	Polyester
PTFE	Polytetrafluoretylen
PU	Polyuretan
UV	Ultrafialové záření
SS	Součet čtverců
MS	Průměrný čtverec

## Úvod

Díky průmyslovému rozvoji, příchodu nových technologií a vyšší životní úrovni, došlo ke změně životního stylu, nároků a požadavků obyvatelstva. Nárůst volného času přinesl velkou oblibu aktivit provozovaných v přírodě ve formě sportu nebo jiných druhů pohybu. Dlouhodobý pobyt v přírodě si vyžádal i změnu požadavků na vybavení, jehož nedílnou součástí je i oděv. Díky novým technologiím, materiálům a požadavkům ze strany zákazníků se změnily i standardy v tomto segmentu trhu.

Za všech klimatických podmínek se chce jedinec cítit komfortně. Při pobytu v přírodě však můžou nastat rychlé a nepředvídatelné změny těchto podmínek, které mohou způsobit řadu komplikací. Z tohoto důvodu je nezbytné se před těmito vlivy umět chránit, nejlépe vhodným oděvem z patřičného materiálu. Je důležité, aby tento materiál splňoval vlastnosti jako je nepromokavost, propustnost vodních par a odolnost proti větru. S rostoucími nároky pro uspokojení potřeb při nežádoucích klimatických podmínkách již limity klasických oděvních materiálů nestačily. Vývoj si vyžádal navýšení těchto limitů - posun k materiálům složených z několika vrstev, takzvaným laminátům, materiálům spojených z dvou a více vrstev, kdy alespoň jedna z nich je textilie. Pro navýšení vlastností je tato vrstva spojována s membránou, tenkým filmem, který zajišťuje vyšší hydrostatickou odolnost, odolnost proti větru a prodyšnost vzduchu.

Vrstvené textilní lamináty s membránou jsou na trhu již řadu let a jejich vývoj se ubírá cestou zvyšování fyziologického komfortu při jejich nošení. Nejlepších vlastností dosahují textilní lamináty o dvou až třech vrstvách. U třívrstvého laminátu je membrána vkládána mezi podšívkový a vrchní oděvní materiál. Pokud je požadováno odlehčení materiálu, je membrána spojena pouze s vrchovým materiálem a vznikne dvouvrstvý laminát.

Nanovlákná se po jejich vynalezení začala uplatňovat ve všech odvětvích průmyslu, textilního nevyjímaje, své využití zde našla i jako membrána v textilních laminátech. Nanovláknenná membrána se vyznačuje extrémně vysokou prodyšností vodních par, která určuje fyziologický komfort oděvu. Nanovláknenná membrána se již používá v třívrstvých textilních laminátech určených pro vnější ochranné materiály outdoorových oděvů. Zatím ale nebyla pro tento účel použita v dvouvrstvém textilním laminátu. Vrstva nanovláknenné membrány je velmi tenký film a spojení pouze

v dvouvrstvém laminátu by přineslo určitá rizika. Z tohoto důvodu byla zvolena varianta ochránit povrch nanovlákněné membrány pomocí nánosu barviva, jenž má nahradit funkci podšívky a zároveň zachovat specifické vlastnosti membrány.

Cílem této práce je vytvořit vhodné zakrytí nanovlákněné membrány potiskem a u vytvořených vzorků zhodnotit vlastnosti tohoto laminátu. Pro snazší určení míry zakrytí bude vycházeno z obrazové analýzy konkurenčních materiálů s jiným typem membrány, ale určených pro stejné použití.

Nejprve bude porovnána nanovlákněná membrána s rozdílným procentuálním zakrytím pro určení optimálního zakrytí. Následně budou zhodnoceny jednotlivé vzorky i s konkurenčními materiály.

# 1 REŠERŠNÍ ČÁST

Rešeršní část je zaměřena na popis trendů ve vývoji outdoorového oblečení. Zaměřuje se na vlastnosti důležité pro materiály určené pro tento druh oděvů. Následně blíže specifikuje a charakterizuje typy membránového oblečení. Popsána je samotná tvorba laminátů, jejich vlastnosti a účely použití. Pro další porozumění práce je přiblížen potisk textilií, popsány jsou jednotlivé způsoby tisku a samotný tisk šablonou, který bude použit v experimentální části.

## 1.1 Oděvní komfort

Oděvní komfort lze charakterizovat jako stav organismu, kdy se v jeho okolí, včetně oděvu, nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané smysly, a kdy jsou optimálně zachovány fyziologické funkce organismu. Subjektivně lze tento pocit chápat jako stav, kdy nepřevládají pocity tepla nebo chladu, je možné v tomto stavu setrvat po delší dobu a vykonávat v něm určitou činnost. [5]

Komfort oděvních materiálů je jedním z nejdůležitějších aspektů pro všechny výrobce i uživatele oděvů, zejména toto pravidlo platí pro sportovní odvětví. Fyziologický komfort je ovlivněn: vlhkostí vzduchu pod oděvem, vlhkostí pokožky, teplotou vzduchu pod oděvem, teplotou pokožky a obsahem oxidu uhličitého pod oblečením. Fyziologický komfort se dělí na [8]:

- Termofyziologický komfort – ovlivňuje termoregulaci, skládá se z přenosu tepla a vlhkosti skrz oděvní vrstvy
- Sensorický komfort – založen na smyslovém vnímání oděvů, při přímém kontaktu materiálu s pokožkou
- Ergonomický komfort – zabývá se volností pohybu, závisí na konstrukci oděvu a elasticitě materiálů
- Psychologický komfort – ovlivněn módou, tradicí, zvyky jedince a tepelně-klimatickými podmínkami

Z těchto základních druhů fyziologického komfortu je pro textilní materiály určené pro outdoorové oděvy zásadní termofyziologický komfort, kterému je věnována následující kapitola.

### 1.1.1 Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort je stav, v němž jsou fyziologické funkce lidského organismu zachovány v optimu. Tento stav je vnímán jako pocit pohodlí a organismus v něm může setrvat neomezeně dlouho. Při diskomfortu mohou nastat pocity tepla nebo chladu, například při vyšší fyzické zátěži, v teplém a vlhkém prostředí, nebo naopak v chladném prostředí při nízkém fyzickém zatížení. Tento stav se může dostavit také při nošení oděvu, jenž nemá optimální termofyziologické vlastnosti. [7]

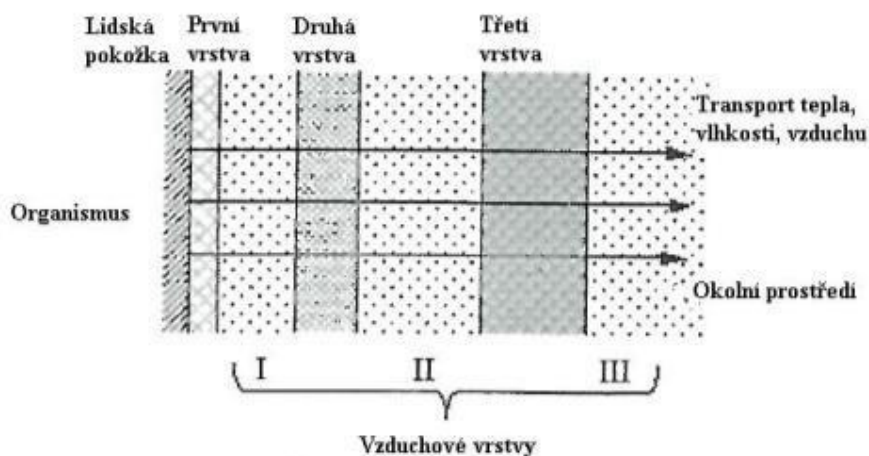
Teplotní oblast správného komfortu lidského organismu je velmi malá, aby bylo této oblasti dosaženo, musí být teplota pod oblečením  $32^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , relativní vlhkost vzduchu  $50 \pm 10\%$  a proudění vzduchu  $25 \pm 15 \text{ cm s}^{-1}$ . Aby textilní materiály určené pro outdoorové oděvy tyto požadavky splňovaly, je za potřebí ideální kombinace mezi vlastnostmi tepelné izolace, propustnosti vodních par a prodyšností vzduchu. Prostup tepla a vlhkosti skrze oděvní vrstvy je závislý na tělesné teplotě, lidské činnosti, počtu oděvních vrstev a podmínkách okolního prostředí. [8]

Moderní textilní materiály určené pro sportovní a outdoorové účely musí chránit organismus proti podchlazení; musí mít dobrou hydrostatickou odolnost a odolnost proti prodyšnosti vzduchu a naopak musí zabezpečit propustnost vodních par od organismu do vnějšího prostředí. Oděvy, které tyto fyziologické vlastnosti splňují, se skládají z [8]:

- První vrstva – spodní prádlo, funkcí této vrstvy je transport potu od pokožky k dalším vrstvám, je v přímém kontaktu s pokožkou
- Druhá vrstva – tepelně izolační vrstva
- Třetí vrstva – ochranná vrstva mezi organismem a okolním prostředím, musí splňovat hydrostatickou odolnost, odolnost proti pronikání vzduchu z okolního prostředí a zároveň propustná pro vodních páry

Všechny tyto vrstvy mají vliv na transport tepla, vlhkosti a pronikání vody a vzduchu. Princip těchto vrstev je znázorněn na obrázku č. 1. Třetí vrstva vyrobená z bariérových membrán je nejdůležitější vrstvou pro přenos vlhkosti, ale také pro

ochranu proti vodě v tekutém skupenství a větru. Vlastnostem a druhům této třetí vrstvy se budou věnovat další části této práce. [8]



Obrázek 1: Princip funkčního oblečení [5]

## 1.2 Vlastnosti outdoorového oblečení

Outdoorové oblečení nabízí pohodlí, spolehlivost, dlouhou životnost, volnost při pohybu a ochranu proti nepříznivým vlivům počasí. Mělo by tedy splňovat určité komfortní a mechanické vlastnosti. Mnohé z těchto vlastností splňují materiály o několika vrstvách, zvané lamináty, nebo materiály, jenž mají integrovány požadované vlastnosti přímo do polymerních vláken, včetně vlastností, jako je řízení vlhkosti, odolnost proti zápachu a ochranou proti UV záření. [16]

Na materiály používané pro ochranné oděvy a moderní sportovní oblečení jsou ze strany uživatelů kladeny stále vyšší požadavky. Tyto materiály prochází neustálým vývojem; pro jejich výrobu jsou používány nové, moderní materiály a technologie za účelem splnit tyto požadavky.

Trend u těchto materiálů, zejména u textilních laminátů určených jako vnější vrstva oděvního systému, se ubírá především k jejich odlehčení. Požadavky jsou kladeny především na snížení hmotnosti a tloušťky materiálů. Cílem je, aby měl výsledný oděv nižší hmotnost a menší objem, aby byl uživatelům umožněn rychlý, pohodlný pohyb a co nejvyšší volnost. Ve vývoji textilních laminátů je kladen důraz také na zvýšení propustnosti vodních par a zároveň i na zlepšení jejich hydrostatické odolnosti a odolnosti proti větru. [17]

### 1.2.1 Propustnost textilií pro vodní páry

Propustnost vodních par je schopnost textilie propouštět vodní páry, produkované lidským tělem, z prostoru omezeného daným materiálem do vnějšího prostředí. Tato charakteristika je definována jako prostup vodní páry na základě rozdílných parciálních tlaků, které jsou na obou stranách plošné textilie. Vlhkost je transportována z místa s vyšším parciálním tlakem do místa s nižším parciálním tlakem, a proto je za ideálních podmínek (zima, sucho) transportována směrem od těla. [7]

Pohyb vodních par skrze textilní vrstvy je důležitý faktor v oděvním komfortu. Tato vlastnost zajišťuje, aby nedocházelo k přehřátí organismu, nadměrnému zvlhnutí oděvu vlastním potem a tím způsobených zhoršených komfortních vlastností při nošení. Z tohoto důvodu je na propustnost vodních par u textilních materiálů používaných pro outdoorové účely kladen právě tak velký důraz. [6]

Vlastnost textilie propouštět vodní páry do vnějšího prostředí se hodnotí pomocí výparného odporu  $R_{et}$  [ $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ ] podle ISO 11092. Je stanovena jako rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. Čím je hodnota  $R_{et}$  nižší, tím je propustnost textilie pro vodní páry vyšší. Dále lze propustnost vodních par měřit podle ASTM E96-BW a ISO 2528. Jednotkou této metody je [ $g/m^2 \cdot 24hod$ ], její nevýhodou je, že z ní není patrné, při jaké vlhkosti vnějšího vzduchu k příslušné propustnosti dochází. Pro porovnání je v tabulce č. 2 udána klasifikace propustnosti vodních par v obou jednotkách podle stávajících norem ISO. [5, 6, 7]

Tabulka 1: Klasifikace propustnosti textilií pro vodní páry [5]

$R_{et} < 6$	Velmi dobrá	Nad 20 000 $g/m^2 \cdot 24hod$
$R_{et} 6 - 13$	Dobrá	9 000 - 20 000 $g/m^2 \cdot 24hod$
$R_{et} 13 - 20$	Uspokojivá	5 000 - 9 000 $g/m^2 \cdot 24hod$
$R_{et} > 20$	Neuspokojivá	Pod 5 000 $g/m^2 \cdot 24hod$

## 1.2.2 Propustnost textilií pro vzduch

Propustnost textilií pro vzduch lze nazvat také jako prodyšnost. Je to schopnost propouštět vzduch za stanovených podmínek skrze textilní materiál. Čím je hodnota propustnosti vyšší, tím více vzduchu materiál propustí. Propustnost textilií pro vzduch se liší podle jejich určení. U některých oděvů, například dressů určených do teplých klimatických podmínek, je vysoká prodyšnost žádoucí. Naopak pro oděvy určené do chladnějšího počasí nebo nepříznivých klimatických podmínek je vysoká prodyšnost nechtěná a může způsobit řadu komplikací. [5]

## 1.2.3 Hydrostatická odolnost

Hydrostatická odolnost je schopnost materiálu odolávat proniknutí vody působící na daný materiál z vnější strany. V posledních letech se pro materiály používané pro výrobu outdoorových oděvů stala velmi důležitým parametrem a jedním z ukazatelů jejich kvality. Na výrobcích je tento údaj uváděn jako výška vodního sloupce; čím je uváděná hodnota vyšší, tím je materiál vůči proniknutí vody odolnější. [6]

Aby mohl být oděv prezentován jako nepromokavý, musí použitý materiál splňovat odolnost alespoň 1300 mm vodního sloupce. V praxi je požadováno rozmezí mezi 7000-20000 mm vodního sloupce z důvodu působení daleko vyššího tlaku na membránu při zatížení materiálu. Vyšší tlak na materiál vyvíjí například popruhy batohu, sezení na sněhu nebo chůze mokrou trávou. Potřebná výška vodního sloupce pro různé outdoorové aktivity je uvedena v tabulce č. 2. [6]

Tabulka 2: Výška vodního sloupce pro různé outdoorové aktivity [18]

Výška vodního sloupce	Aktivita
5000 mm	sezení v mokré trávě, na mokré lavičce
12000 mm	klečení v mokré trávě nebo sněhu
15000 mm	tlak popruhů těžkého batohu
20000 mm	pád lyžaře v rychlosti do mokrého sněhu

V laboratořích je výška vodního sloupce měřena na speciálních přístrojích působením hydrostatického tlaku na testovanou textilií, dokud se na jejím povrchu



neobjeví první tři kapky vody. Hodnota tlaku je pro lepší orientaci následně převedena na výšku vodního sloupce v milimetrech, centimetrech eventuálně metrech. [5, 6]

#### 1.2.4 Odolnost v oděru

Při zkoušení vlastností textilií, je oděr nejagresivnějším narušením povrchu, respektive celé plošné textilie. Dochází k němu při styku plochy textilie s textilií nebo jiným povrchem. Odírají se jednotlivá vlákna, nastává jejich ulamování, odpadávání, ucpávání pórů textilie, prodírání vazných bodů a následný rozpad textilie. [7]

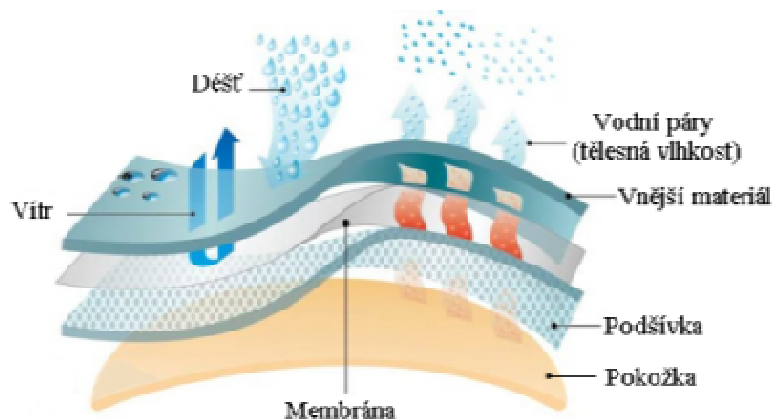
Textilní materiály používané pro outdoorové oděvy jsou velmi často vystavovány nadměrnému namáhání. Může při něm docházet k odírání textilie, což může být příčinou ztráty užitných vlastností oděvu.

### 1.3 Membrány v oděvním průmyslu

Membrány jsou velmi tenké filmy vyrobené z polymerního materiálu a navržené takovým způsobem, aby měly vysokou odolnost vůči pronikání vody zvenčí, byly větruodolné a zároveň umožnily průchod vodní páry, jak je to znázorněné na schématu principu membrány na obrázku č. 1. Tloušťka membrány se pohybuje přibližně okolo 10 $\mu$ m a z tohoto důvodu jsou laminovány na vhodný konvenční textilní materiál, aby bylo docíleno vytvoření nových vlastností tohoto materiálu. [1, 4]

Vícevrstvé textilní polymerní ochranné materiály jsou vyráběné z různých druhů polymerních membrán - nejčastěji z polytetrafluoroethylenu (PTFE), polyesteru (PL) nebo polyuretanu (PU). Existují dva základní typy membrán: mikroporézní (většinou hydrofobního charakteru), a hydrofilní membrány s kompaktní strukturou hydrofilního charakteru. [3, 6, 16]

Hlavní využití textilních materiálů s membránou je v oblasti sportovních oděvů, kde se používají především pro zvýšení komfortních vlastností klasických textilních materiálů. Dostatečně nepromokavé a větruodolné membrány jsou k dispozici již řadu let, ale parametr jejich propustnosti vodních pár poskytuje stále prostor pro zlepšení. [6, 16]

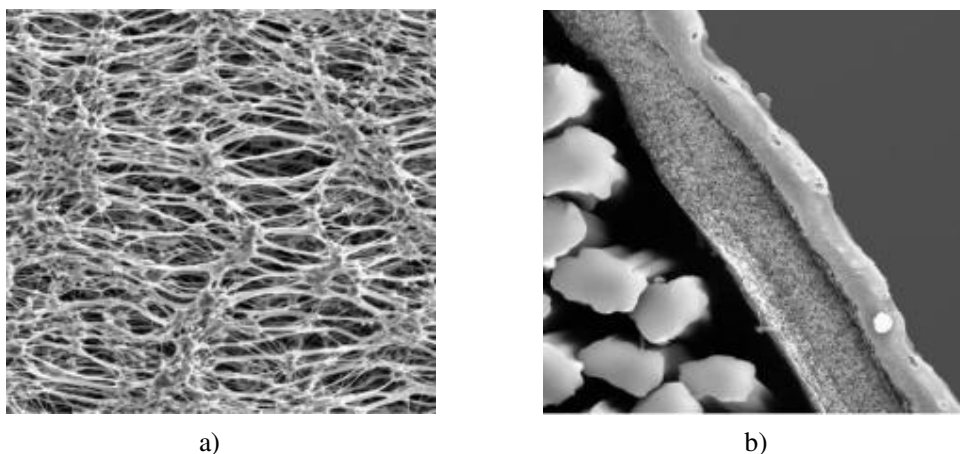


Obrázek 2: Princip membrány [19]

### 1.3.1 Hydrofobní mikroporézní membrány

První a nejspíše nejlépe známá mikroporézní membrána, vyvinuta a představena v roce 1976 W. Gorem, je známá pod jménem Gore-Tex®. Tento typ membrány vyrobené z PTFE disponuje velkým množstvím mikroskopických pórů o velikostech pohybujících se v desetinách mikrometrů. Tyto pory jsou přibližně 20000 krát menší než kapky vody, ale zároveň zhruba 700 krát větší než samotné molekuly vodní páry. [1, 6]

Výhodou mikroporézních membrán je dobrá paropropustnost i při zachování schopnosti vysokého vodního sloupce. Naopak nevýhodou je vysoká pravděpodobnost kontaminace během používání způsobená např. tukovými částicemi, nečistotami, solemi, zbytkovým pracím prostředkem nebo povrchově aktivními látkami použitými při čištění. Znečištění pak vede ke snížení hydrostatické odolnosti a propustnosti vodních par membránou. Z tohoto důvodu přistupují výrobci mikroporézních membrán k úpravám redukcujícím znečištění a zanesení pórů. Například firma Gore-Tex® potahuje mikroporézní membránu velmi tenkým filmem hydrofilního polyuretanu; firma NANOPROTEX zase nanáší tenkou vrstvu fluorkarbonu na jednotlivá vlákna, čímž se zamezí přilnavosti nečistot na samotnou membránu. [1, 6]

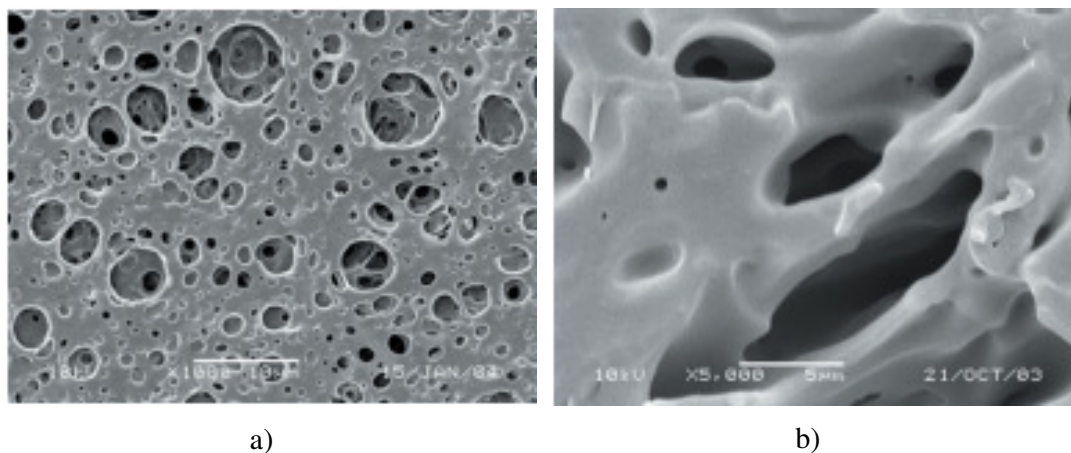


Obrázek 3: Povrch membrány Gore-Tex a) [20], příčný řez membránou Gore-Tex b) [21]

Hydrofobní mikroporézní membrána z polytetrafluoroethylenu (PTFE) je vyráběna v procesu tažení za kritických podmínek z neprodyšných membrán, což má za následek vznik četných mikrotrhlin nebo mikroporozitů, dodávajících výrobku vysokou prodyšnost a nepromokavost, viz obrázek č. 2. Tento proces se používá k výrobě membrán pod již zmíněným obchodním názvem Gore-Tex od americké firmy W. L. Gore & Assoc.s Inc. [3]

Dalším způsobem získávání hydrofobní mikroporézní membrány různých polymerů je perforování neprodyšné membrány elektronovým mikropaprskem; elektronový mikropaprsek vytváří mikropóry skrze membránu. [3]

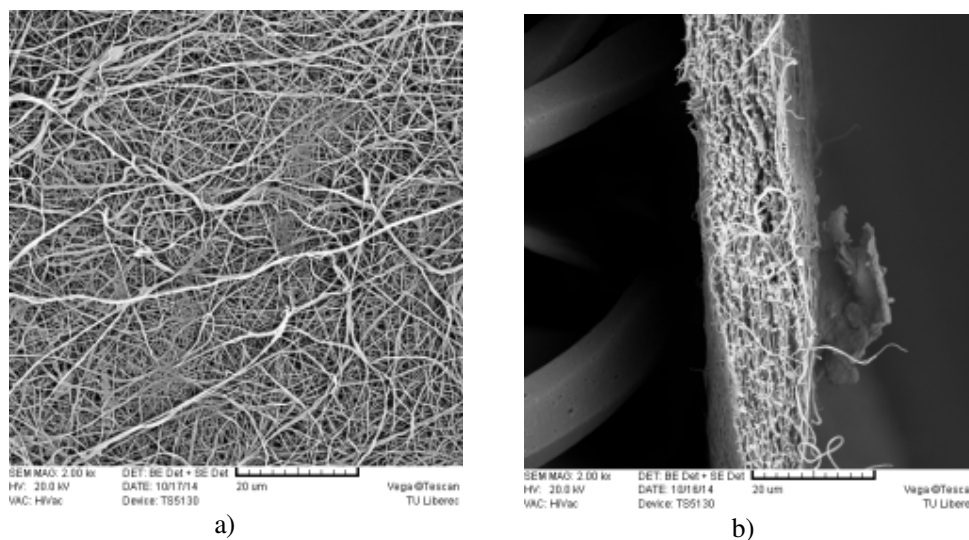
Při výrobě hydrofobních mikroporézních membrán z polyuretanu (PU) nebo polystyrenu (PS) je uplatňován proces koagulace; póry vzniknou v důsledku selektivního odpaření rozpouštědla a nerozpustných látek. Na obrázku 3 a) je zobrazen povrch mikroporézní PU membrány - je vidět rovnoměrné rozmístění pórů na jejím povrchu. Řez mikroporézní PU membránou na obrázku 3 b) ukazuje, že tvar a délka mikropórů v průřezu je variabilní a jejich uspořádání je v různých směrech. Příkladem tohoto druhu membrán jsou membrány Porelle britské firmy Porvair. [3]



Obrázek 4: Povrch mikroporézní PU membrány a), řez mikroporézní PU membránou b) [3]

Hydrofobní mikroporézní membrána se vyrábí také z polyamidu 6. Tento materiál používá firma NANOPROTEX vyrábějící hydrofobní porézní nanovláknennou membránu. Nanovláknenná membrána od firmy NANOPROTEX má díky unikátní nanovláknenné struktuře, s průměrem nanovláken 150 nm, více pórů na danou plochu. Díky tomu má materiál velmi vysokou paropropustnost, Ret přibližně  $1,5 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ . Na obrázku 4a) je znázorněn povrch hydrofobní porézní nanovláknenné membrány a na obrázku 4b) řez touto membránou. [6]

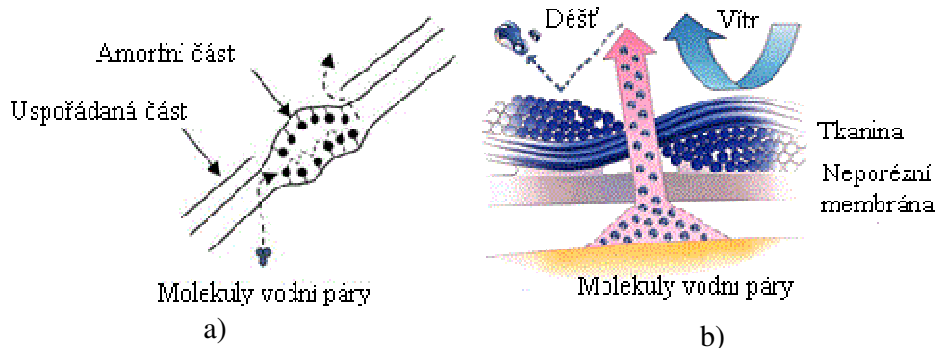
Tyto typy membrán disponují podobnými charakteristikami, jakými jsou vysoká voděodolnost, odolnost proti větru a vysoká prodyšnost.



Obrázek 5: Povrch nanovláknenné membrány a), řez nanovláknennou membránou b) [Vlastní snímky]

### 1.3.2 Hydrofilní neporézní membrány

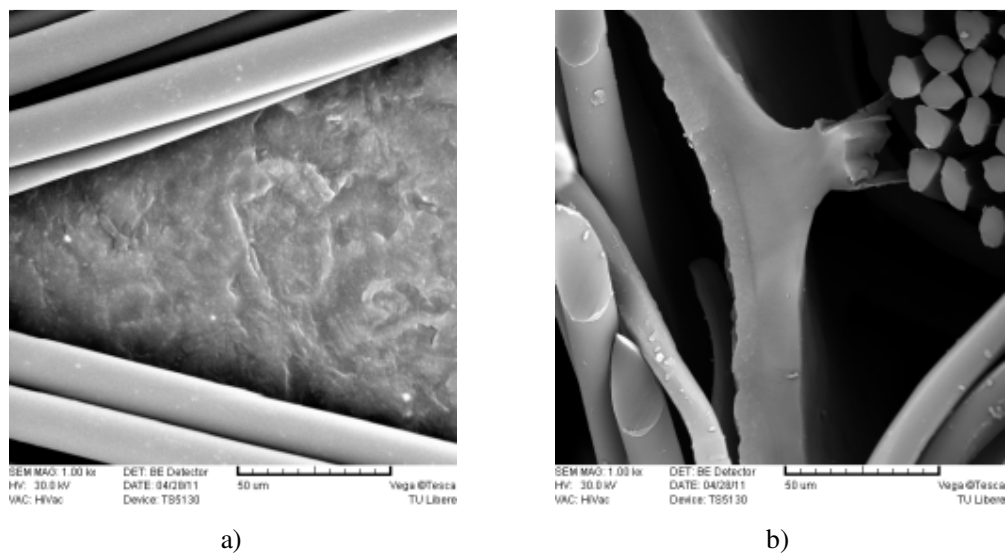
Hydrofilní neporézní membrány jsou velmi tenké filmy z chemicky modifikovaného polyesteru nebo polyuretanu. Tyto filmy neobsahují žádné otvory, proto se označují jako neporézní homogenní povrchy. Jejich pevná, kompaktní konstrukce zabraňuje pronikání vodních kapek, ale dovoluje přenos poměrně velkého množství vodní páry kondenzující na vnitřní straně membrány skrze materiál na základě molekulárního mechanismu (absorpce – difuze – desorpce). Na obrázku 5 a) jsou popsány amorfnní oblasti polymeru jako mezimolekulární „póry“ dovolující prostoupit molekulám vodní páry. Vlivem vyšší teploty (nárůst tělesné teploty jako důsledek intenzivnějšího pohybu) se molekuly v hydrofilní vrstvě membrány pohybují rychleji, vzdálenost mezi nimi se zvětšuje, a schopnost propouštět páru úměrně narůstá. Obrázek 5 b) je schématem prostupu vodní páry neporézní polyuretanovou membránou. [1, 2, 18]



Obrázek 6: Schéma amorfnní oblasti a) [1], prostup vodní páry PU membránou [22]

Výhodou hydrofilních neporézních membrán je díky použitému polymeru (nejčastěji PU) minimální zanášení pórů a lepší možnost elasticity a do jisté míry i schopnost převádět zkondenzovanou vlhkost. Nevýhodou představuje prakticky nulový přenos plynů a obecně horší paropropustnost oproti mikroporézním membránám. [6, 18]

Příkladem hydrofilních neporézních membrán jsou polyesterové membrány firmy Sympatex Composites Co., známé pod obchodním názvem Sympatex, stejně jako polyuretanové membrány Dermizax od japonské firmy Toray. Na obrázku 6 a) je povrch membrány Dermizax, na obrázku 6 b) příčný řez touto membránou. [3]



Obrázek 7: Povrch hydrofilní PU membrány a), řez hydrofilní PU membránou b) [Vlastní snímky]

## 1.4 Textilní lamináty

Textilní lamináty se skládají z dvou nebo více vrstev, přičemž alespoň jedna z nich je textilní materiál spojený pomocí přidaného lepidla, nebo adhezivními vlastnostmi dílčí vrstvy. Mezi jednotlivými vrstvami vznikne kompaktní, pevné spojení mající za úkol nezhoršit vlastnosti textilie při používání, např. při pohybu nebo praní. Adhezivum často vytvoří příliš tuhý, neohebný materiál se zhoršeným omakem, vnímaným jako negativní charakteristika zejména u materiálů, kde je kladen vysoký důraz na komfort. [23]

Laminované textilie jsou široce používány u vysoce funkčních oděvů, kde je od materiálů požadována vysoká hydrostatická odolnost a propustnost vodních par, naopak nízká prodyšnost vzduchu. V tomto případě laminát často obsahuje netextilní membránu vloženou mezi dvě textilie, například mikroporézní membránu Gore-Tex®. Laminování se uplatňuje také u módních látek, kdy má vzhled přednost před funkcí. Laminace se provádí na povrch materiálu k výrobě vizuálně zajímavého designu, jako jsou fóliové hologramy nebo textury. Způsob laminace je závislý na ceně, funkčních požadavcích a postupu výroby materiálu. Konstrukční provedení laminace membrán je rozdělováno do pěti základních skupin. [7, 23]

Způsoby laminace textilií [1]:

- Prostřednictvím bodového nánosu tavných adheziv
- Spojení pomocí polyuretanové pěny tavené plamenem
- Ultrazvukem
- Kaširováním

Konstrukční provedení laminace textilií [7]:

- Dvouvrstvý laminát (membrána laminovaná na vrchový materiál)
- Dvouvrstvý laminát s volnou podšívkou (vrchový materiál laminovaný s membránou a volně vložená podšívká)
- Dvou a půlvrstvý laminát (vrchový materiál laminovaný s membránou opatřenou nánosem barviva)
- Třívrstvý laminát (vrchový materiál laminovaný s membránou a podšívkou)
- Volně vložená membrána mezi vrchový materiál a podšívkou (Z-liner)

### 1.4.1 Dvouvrstvý laminát

K vytvoření dvouvrstvé struktury je membrána laminována na vnitřní stranu textilního materiálu, viz obrázek č. 7. Membrána v tomto případě není chráněna, může dojít k jejímu poškození vlivem tření a je snáze náchylnější k znečištění. Z tohoto důvodu se vnitřní strana membrány potahuje speciální ochrannou vrstvou obsahující oleofobní látky a karbonová vlákna. Samotný laminát je oproti třívrstvému laminátu lehčí a má lepší paropropustnost; odolnost proti pronikání vody je však srovnatelná. [6, 24]



Obrázek 8: Schéma dvouvrstvého laminátu [22]

### 1.4.2 Dvouvrstvý laminát s volnou podšívkou

U tohoto typu laminátu je membrána spojená s vnější textilií chráněná volně vloženou podšívkou (viz obr. č. 8), jenž zajišťuje větší pohodlí při nošení a umožňuje jeho všestranné použití. Vzduchová vrstva mezi podšívkou a membránou však může negativně ovlivňovat paropropustnost materiálu, jelikož významně ovlivňuje odpor vodních par (potu). [6, 24]



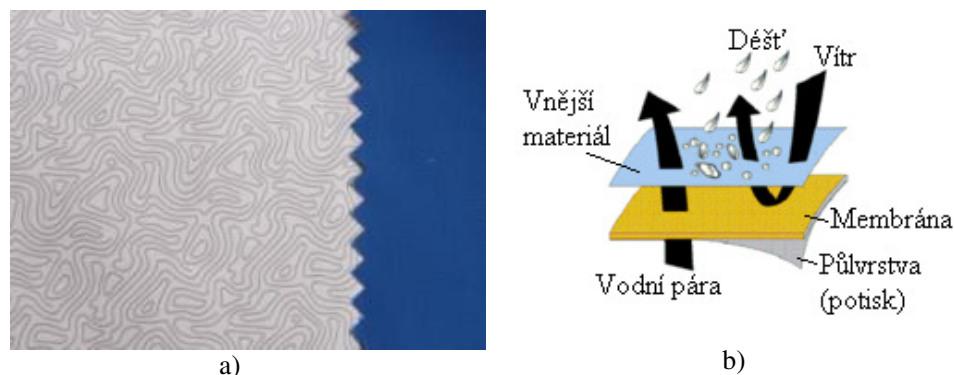
Obrázek 9: Schéma dvouvrstvého laminátu s volně vloženou podšívkou [28]

### 1.4.3 Dvou a půlvrstvý laminát

Vrchní textilní materiál je z vnitřní strany laminován s membránou, ta je namísto podšívky chráněna pomocí nánosu barviva, nánosem karbonových či jiných vláken, jako například u firmy Gore-Tex® a technologie Paclite® Shell. Membrána je tímto způsobem chráněna proti oděru a poškození. Odpadá zde nutnost podšívkování oděvu, což snižuje jeho hmotnost a objem výrobku a zlepšuje průchodnost vodní páry materiálem. Transferového tisku se využívá také k ochraně polyuretanových hydrofilních neporézních membrán, viz obrázek 9 a). Schéma dvou a půlvrstvého laminátu je znázorněn na obr. 9 b). [6, 7, 24, 25]

Označení dvou a půlvrstvý laminát je obchodní název a používá se pro lepší orientaci při vymezování pojmů. Ve skutečnosti se jedná o třívrstvý laminát, vrchní látka tvoří laminát s membránou chráněnou pomocí potisku. Tento typ ochrany membrán se používá u textilních laminátů, u kterých je požadováno celkové odlehčení z důvodu snížení hmotnosti materiálu a celkového objemu oděvu. Zároveň také dojde k úspoře materiálu, zjednodušení výroby a snížení nákladů na výrobu. [6]





Obrázek 10: Potisk na PU membráně a) [vlastní snímek], schéma dvou a půlvrstvého laminátu b) [30]

#### 1.4.4 Třívrstvý laminát

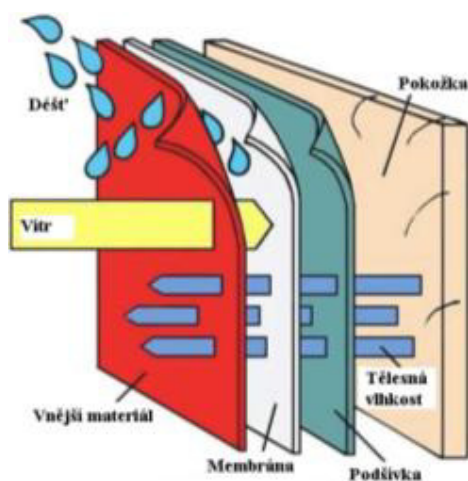
Třívrstvý laminát je nejběžněji používaným typem těchto materiálů. Třívrstvá konstrukce je vytvořena spojením vnitřní strany vnější textilie s membránou a podšívkovým materiálem. Mezi jednotlivými vrstvami laminátu nevzniká tření; podšívka chrání membránu před nečistotami a zároveň ji chrání proti oděru. Na obrázku č. 10 můžeme vidět schéma třívrstvého laminátu. [6, 24]



Obrázek 11: Schéma třívrstvého laminátu [28]

### 1.4.5 Volně vložená membrána (Z-liner)

Membrána může být v oděvu použita také pomocí volného vložení, používá se také název Z-liner. V tomto případě není použita laminace, nejedná se tedy o laminát. Membrána je jen volně vložena mezi svrchní a podšívkový materiál, viz obr. č. 11. Materiál má vysokou prodyšnost, problém je však ve velmi nízké ochraně membrány. Z-liner se využívá tam, kde je nežádoucí laminace z hlediska ohybové tuhosti, například u rukavic. [6]



Obrázek 12: Schéma volně vložené membrány mezi textilními materiály (Z-liner) [27]

### 1.5 Teorie tisku

Textilní tisk patří vedle barvení k jedné z nejdůležitějších zušlechťovacích technologií mající vliv na konečný vzhled výrobku. Představuje vytvoření předem určeného barevného vzoru na textilií, zpravidla s opakováním určité vzorové jednotky. Lze jej popsat jako lokalizovanou formu barvení, aplikací barviva na předem vybrané oblasti textilie, za účelem vytvoření požadovaného vzhledu. Textilní tisk, stejně jako barvení, je proces nanášení barvy na textilní materiál. Barvení znamená obarvení celé podkladové textilie, oproti tomu při tisku se barva aplikuje pouze na vymezená místa pro dosažení požadovaného vzoru. V obou případech se jedná o různé techniky a odlišné použití strojů, avšak fyzikální a chemické procesy probíhající mezi barvivem a vlákny jsou analogické s barvením. [9, 26]

Pro tisk se používají prakticky stejná barviva jako při běžném barvení. Barvivo ve formě tiskací pasty je místně nanášeno různými tiskařskými technikami na textilní

materiál. Po samotném tisku je nutné barviva fixovat, aby mělo vzniklé vybarvení požadovanou stálost. Základní postup při potiskování obsahuje pět základních kroků [9]:

1. Příprava tiskací pasty
2. Vlastní tisk
3. Sušení
4. Fixace
5. Praní po tisku

Dokončovací práce po samotném tisku závisí na druhu použitých barviv a na charakteru textilního materiálu. Následuje sušení a fixace v horkovzdušném pařáku pro upevnění barviv na vláknech. Některá barviva se na vláknech upevňují již pouhým zaschnutím, většinou se ale fixují pařením; vyšší teplota při procesu paření napomáhá chemickým reakcím v nanesené barvě a napomáhá difúzi barviva do vláken. Práním po tisku se odstraní přebytečné barvivo a barvivo, které se nezafixovalo do struktury materiálu. [9]

### 1.5.1 Tiskařské techniky

Od svého počátku prošel tisk různými stupni vývoje zaměřenými na zdokonalování, mechanizaci a automatizaci jednotlivých fází technologie tisku. Postupně docházelo ke vzniku a propracovávání jednotlivých tiskařských technik. Po chemické stránce můžeme způsoby tisku rozdělit na [9]:

- Tisk přímý
- Tisk leptem
- Tisk rezervou

Po mechanické stránce rozlišujeme tyto způsoby tisku [9]:

- Ruční tisk
- Strojní válcový tisk
- Filmový tisk
- Speciální druhy tisku (tisk přenosem, digitální tisk, UV tisk)

## 1.5.2 Rozdělení tisku po chemické stránce

V tisku je obvykle každá barva použita zvlášť a je k tomu použita celá řada tiskařských technik. Po přípravě se tiskací pasta nanáší na konkrétní oblasti textilií pomocí jedné z následujících technik.

### 1.5.2.1 Tisk přímý

Tato technika patří k nejrozšířenějším a nejpoužívanějším způsobům tisku. Spočívá v nanesení tiskací pasty na specifické oblasti předem upraveného textilního materiálu. Zpravidla se tiskací pasta aplikuje na bílý nebo předem obarvený materiál ve světlých odstínech. Principu přímého tisku využívá také digitální a přenosový tisk. [9, 26]

### 1.5.2.2 Tisk leptem

Princip tisku leptem spočívá v natisknutí leptací pasty na předem obarvený materiál. Leptací činidlo po následném procesu paření nebo horkovzdušného zpracování, při němž proběhnou chemické reakce, rozruší na potištěných místech barvivo a tím vzniká bílý lept. Rozrušené barvivo se při konečném procesu praní vypere. Vedle bílého leptu můžeme získat také pestrý lept, jestliže do tiskací pasty přidáme vedle leptacího činidla také barvivo odolné vůči leptacímu prostředku, jenž se fixuje na místě rozloženého barviva. Hlavní uplatnění leptového tisku je při vytváření drobných vzorů. [9, 10]

### 1.5.2.3 Tisk rezervou

Podstatou rezervového tisku je mechanické nebo chemické zabránění vybarvení materiálu v potištěných místech. Tato metoda je velmi stará a vychází z původní voskové rezervy používající se dodnes. Jedním ze způsobů rezervy je potisknutí neobarvené textilie rezervou, jejím následným obarvením a odstraněním rezervy; získáme tzv. bílou rezervu metodou přetisku. Pokud přidáme k rezervující látce barvivo, jenž se na textilií fixuje i v prostředí této rezervy, získáme rezervu pestrou. [9, 10]

### 1.5.3 Rozdělení tisku po mechanické stránce

V tisku je obvykle každá barva použita zvlášť a je k tomu použita celá řada tiskařských technik.

#### 1.5.3.1 Ruční tisk

Ruční tisk pomocí dřevěných tiskařských forem se již nepoužívá, byl plně mechanizován a nahrazen moderními tiskařskými stroji. Formy se vyráběly rytím vzorů do dřeva, tisk probíhal ručně na tiskařských stolech. [9]

#### 1.5.3.2 Strojní válcový tisk

Podstatou strojního válcového tisku jsou měděné tiskací válce, v nichž jsou do hloubky vryté vzory. Do hloubky rytiny se zatře tiskací pasta, válec se přitlačí na textilii, čímž se tiskací pasta přenesení na povrch materiálu. Přebytečná pasta na válci se stírá ocelovou stěrkou. Každý válec je schopen natisknout pouze jednu barvu, z tohoto důvodu musí mít tiskací stroj tolik tiskacích válců, kolik má daný vzor barev a pro každou barvu musí být vytvořen samostatný vzor. [9]

V současnosti dochází k ústupu používání tohoto způsobu tisku, především z důvodu dlouhé a nákladné výroby tiskacích válců a nutnosti vysokého přitlaku tiskacích válců k textilii. [9]

#### 1.5.3.3 Šablonový tisk

U šablonového tisku se tiskací pasta nanáší na potiskovanou textilii skrz síťovou šablonu opatřenou vzorem, v místě tohoto vzoru je síť propustná. Šablona je tvořena sítím a rámem; rám tvoří nosnou konstrukci, napomáhá šablonu vyztužit a udržet její správný tvar během používání. Síť má za úkol vytvořit podklad pro nános krycí vrstvy laku v místech, jenž nemají být potištěna. Tiskací pasta se sítím šablony protlačí pomocí stěrky. Šablonový tisk lze dělit na [9]:

- Ruční
- Strojní
  - Stroje s plochými šablonami
  - Karuselové stroje
  - Stroje s rotačními šablonami

## **Ruční tisk**

V případě ručního tisku se šablona upevní na tiskací vozík, ten se pomocí pák přitiskne na tkaninu upevněnou na tiskacím stole, tiskací pasta se nanese na šablonu uvnitř rámu a pomocí stěrky se protlačí skrze textilií. Po provedení tisku se šablona nadzvedne a posune se k další zarážce. Tato technika umožňuje plynulou návaznost jednotlivých tisků na sebe, při vícebarevném tisku umožňuje správnou posloupnost jednotlivých barev dle návrhu. [9]

## **Tisk pomocí strojů s plochými šablonami**

Tisk pomocí automatických nebo poloautomatických strojů s plochými šablonami se používá pro vícevzorový tisk, kde je kladen důraz na přesnost tisku. Pro potisk se většinou používají polyesterové, polypropylenové nebo polyamidové textilní materiály. U tisku plochými šablonami se pohybuje dopravník s textilním materiálem, šablony zůstávají na místě (vykonávají pouze zdvih) a pro každou barvu vzoru je vytvořena zvlášť šablona se sítím. Nevýhodou tohoto způsobu tisku je jeho diskontinuální průběh pohybu. [1, 9]

## **Tisk pomocí karuselových strojů**

Tento způsob tisku se nejčastěji používá pro potisk kusového zboží a hotových výrobků. Textilie určená pro tisk se upevní na podložku. Otáčením karuselu s textilií a tiskem jednotlivých šablon upevněných na držáku postupně vzniká mnohobarevný vzor. [9]

## **Tisk pomocí strojů s rotačními šablonami**

Šablona je v tomto případě stočena do válcového tvaru. Rotační šablona má charakter tenkostěnné, bezešvé trubky nasazené do otočných hlav po obou stranách stroje. Jejich pohon je synchronní s pohonem tiskací podložky. V současné době patří filmový tisk rotačními šablonami k nejpoužívanějším způsobům potiskování textilií. Oproti tisku plochými šablonami probíhá tisk kontinuálně, výhodou je tak vyšší produktivita. [9, 28]

### **1.5.3.4 Tisk přenosem**

Tisk přenosem patří k speciálním technikám potisku textilií. Při této technice se na povrch potiskované textilie přenáší vzor speciálním pracovním postupem. Tento způsob tisku se provádí sublimací barviva, přenosem pomocí tavení nebo metodou

uvolnění barviva z papírového nebo jiného nosiče na textilní materiál za soudobého působení tepla a tlaku. Tento způsob potisku se uplatňuje především u textilií ze syntetických vláken, především polyesteru. [1, 9]

#### **1.5.3.5 Digitální tisk**

U digitálního tisku se využívá digitálních inkoustových tiskáren. Výhodou tohoto způsobu tisku je nízká náročnost na obsluhu, tiskne se bez šablon, barva se nanáší tryskami přímo na textilií. Hlavice s tryskami se pohybuje nad materiálem a vytváří vzor, požadovaný vzor je načten v počítači v příslušném formátu a zbytek procesu tisku je řízen počítačem. [29]

Obecně jsou digitální inkoustové tiskárny určené pro potisk textilií z přírodních vláken (celulóza, vlna, hedvábí) a také polyesterových textilních materiálů. Používají se pro potisk vlajek, transparentů, ale také pro tisk malých sérií moderních technických textilních materiálů. [1]

## 2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část je zaměřena na tvorbu ochranné vrstvy, pomocí nánosu barviva, na dvouvrstvý textilní laminát s nanovláknennou membránou. Ochranná vrstva na membráně byla vytvořena nánosem barviva pomocí šablonového tisku. Procentuální zakrytí plochy nanovláknenné membrány vychází z výsledků obrazové analýzy u konkurenčních materiálů, dvouvrstvého laminátu s hydrofilní neporézní membránou a materiálu s mikroporézním zátěrem, určených pro stejné účely použití.

Lamináty s nanovláknennou membránou, s předem definovanými procentuálními zakrytími plochy potiskem, budou ve stanovených zkouškách porovnány nejprve mezi sebou a následně s konkurenčními materiály.

### 2.1 Tvorba ochranné vrstvy na nanovláknennou membránu

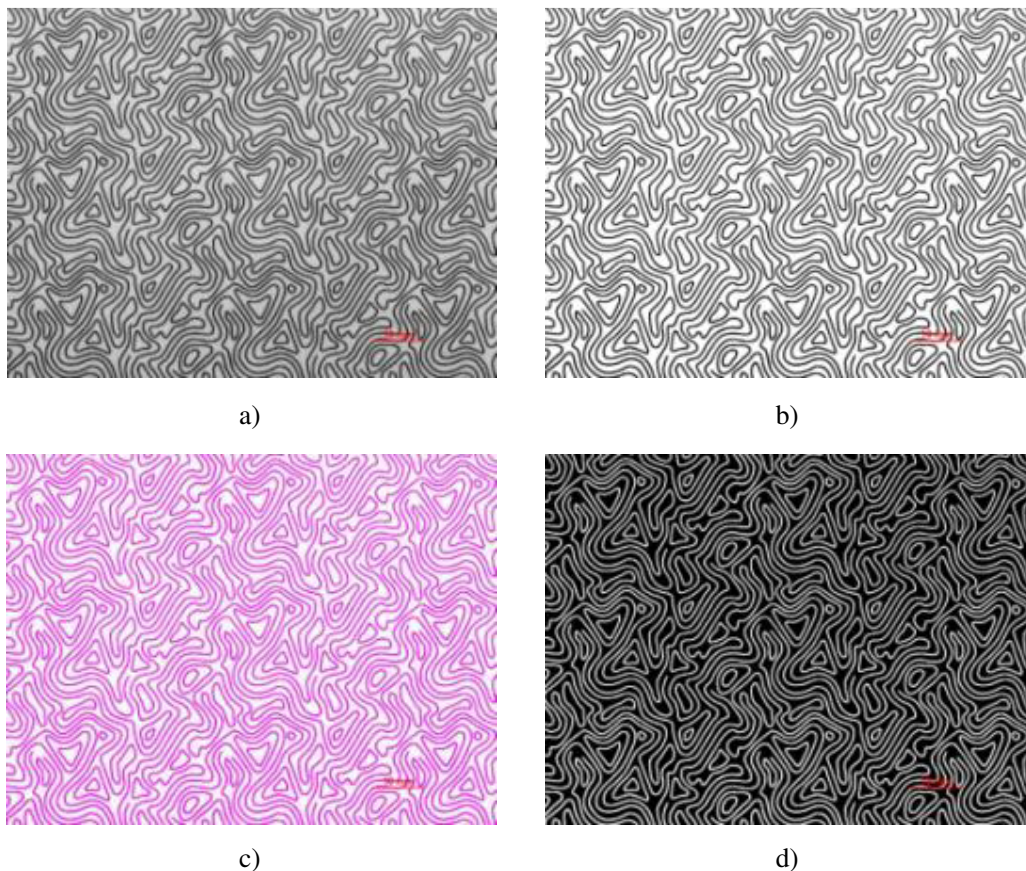
Ochranná vrstva nanovláknenné membrány byla tvořena nánosem barviva, jenž má za úkol nahradit funkci podšívky, tvořit ochranu membrány při namáhání a zároveň zachovat její specifické vlastnosti. Oproti konstrukci s podšívkou dochází k odlehčení laminátu a zároveň k úspoře materiálu.

#### 2.1.1 Procentuální zakrytí membrány potiskem

Pro určení procentuálního zakrytí plochy nanovláknenné membrány potiskem byla provedena obrazová analýza u konkurenčních materiálů. Jednalo o dvouvrstvý laminát s hydrofilní neporézní polyuretanovou membránou a materiál s mikroporézním zátěrem, plocha membrány a zátěru byla opatřena potiskem. Snímky obrazové analýzy prvního materiálu jsou znázorněny na obrázku č. 13, snímky obrazové analýzy druhého materiálu na obrázku č. 14.

Obrazy byly snímány za stejných světelných podmínek a byl volen stejný princip prahování. Pro jednoznačné stanovení prahu byl na obrazech proveden lokální kontrast. Od každého materiálu bylo pořízeno 100 obrazů. Obrazová analýza byla u obou materiálů vyhodnocena v programu NIS-Elements.

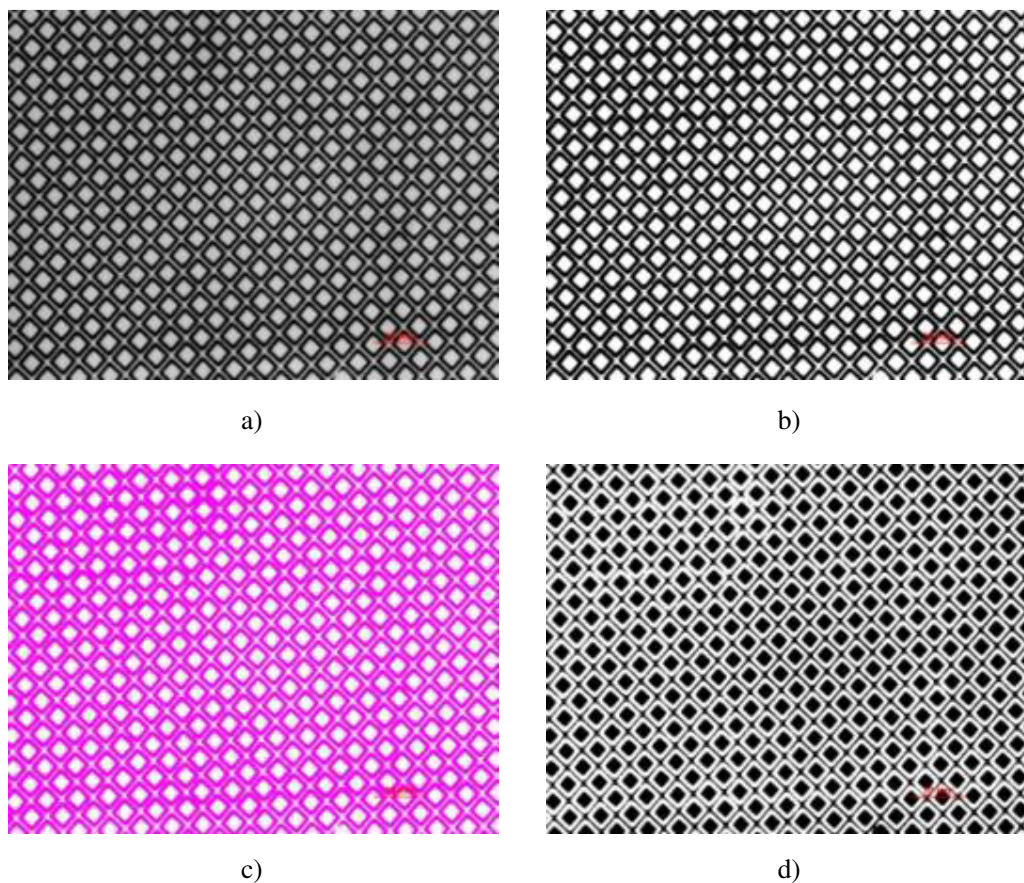




Obrázek 13: Postup obrazové analýzy [Vlastní snímky]

Postup obrazové analýzy byl následující:

1. Otevření sekvence obrazu, viz obr. 13 a), 14 a)
2. Lokální kontrast
3. Konverze RGB obrazu do šedotónového obrazu, viz obr. 13 b), 14 b)
4. Prahování
5. Získání překryvového, viz obr. 13 c), 14 c) a zároveň binárního obrazu, viz obr. 13 d), 14 d)
6. Automatické měření příznaku polí („část binární plochy“)



Obrázek 14: Postup obrazové analýzy [Vlastní snímky]

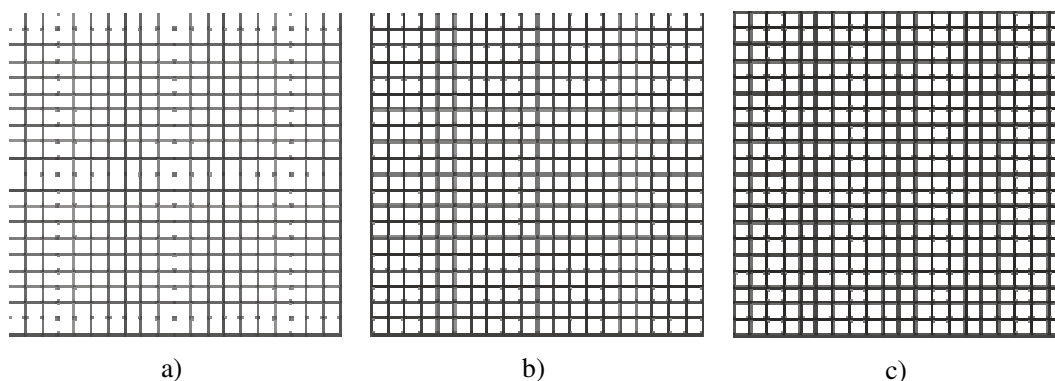
Výsledky obrazové analýzy jsou znázorněny v tabulce č. 3. V návaznosti na zakrytí plochy membrány a zátěru u konkurenčních materiálů potiskem bylo zvoleno zakrytí pro laminát s nanovláknennou membránou na 20 %, 30 % a 40 %.

Tabulka 3: Výsledky obrazové analýzy konkurenčních materiálů

	Část binární plochy	
	Materiál 1	Materiál 2
Průměr	<b>0,2948 = 29,5 %</b>	<b>0,5174 = 52 %</b>
Minimum	0,274	0,495
Maximum	0,329	0,556
Směrodatná odchylka	0,015	0,013
Variační koeficient	5,108	2,508
95% Interval spolehlivosti	<0,291855; 0,297862>	<0,517363; 0,522537>

## 2.1.2 Potisk nanovláknenné membrány

Pro potisk nanovláknenné membrány byla jako vzor zvolena mřížka. Rozměr mřížky byl stanoven 200×200 mm o počtu buněk (čtverců) 20×20 s tloušťkou obrysu pro 20 % zakrytí 0,95 mm, pro 30 % zakrytí 1,45 mm a pro 40 % zakrytí je tloušťka obrysu 1,90 mm. Rozměry buněk v mřížce se mění stejnoměrně, úměrně k odpovídajícímu procentuálnímu zakrytí plochy tiskem. Návrhy mřížek byly vytvořeny v programu Corel Draw 16, viz obrázek č. 15.



Obrázek 15: Vzor mřížky s 20 % zakrytím a), s 30 % zakrytím b), s 40 % zakrytím c) [Vlastní snímky]

Potisk nanovláknenné membrány mřížkami s odpovídajícím procentuálním zakrytím byl zhotoven pomocí šablonového tisku na karuselových tiskacích strojích firmou PROCENTRUM Design, s.r.o.

Pro potisk byla použita barva TEXIPLAST 7000 OP. Jedná se o bezftalátovou vysoce krycí plastizolovou barvu určenou pro šablonový tisk. [31]

## 2.2 Charakteristika materiálů

Jedná se o materiály určené pro stejné účely použití - především jako vnější ochranné materiály pro outdoorové oděvy vhodné do nepříznivých klimatických podmínek.

Dvouvrstvý laminát s nanovláknennou membránou, vyrobenou z polyamidu 6, byl poskytnut firmou NANOPROTEX s.r.o., zabývající se vývojem a výrobou nových nanovláknenných výrobků, nanovláknenných membrán a laminátů s nanovláknennými membránami určenými pro oděvní materiály. [32]

Jako konkurenční materiál byl zvolen dvouvrstvý laminát s polyuretanovou membránou a mikroporézní zátěr firmy Kunshan Sunshine Textile Co., Ltd. Firma se zabývá výrobou funkčních textilií a textilních laminátů určených pro sport a outdoorové aktivity. [33]

Hodnocen bude dvouvrstvý laminát s nanovláknou membránou bez potisku, s 20 %, 30 % a 40 % zakrytím membrány potiskem, dvouvrstvý laminát s hydrofilní neporézní membránou s 29,5 % zakrytím membrány potiskem a zátěr s 52 % zakrytím mikroporézní plochy potiskem. Jednotlivé materiály jsou charakterizovány v tabulce č. 4.

Tabulka 4: Charakteristiky jednotlivých materiálů

Zakrytí plochy potiskem [%]	Typ textilie	Složky laminátu		Plošná hmotnost [g·m <sup>-2</sup> ]
		Nosný materiál	Typ membrány	
0 %	Dvouvrstvý laminát	Tkanina	Nanovlákná	117
20 %	Dvouvrstvý laminát	Tkanina	Nanovlákná	129
30 %	Dvouvrstvý laminát	Tkanina	Nanovlákná	133
40 %	Dvouvrstvý laminát	Tkanina	Nanovlákná	141
29,5 %	Dvouvrstvý laminát	Tkanina	Hydrofilní neporézní	95
52 %	Zátěr	Tkanina	Hydrofobní mikroporézní	172

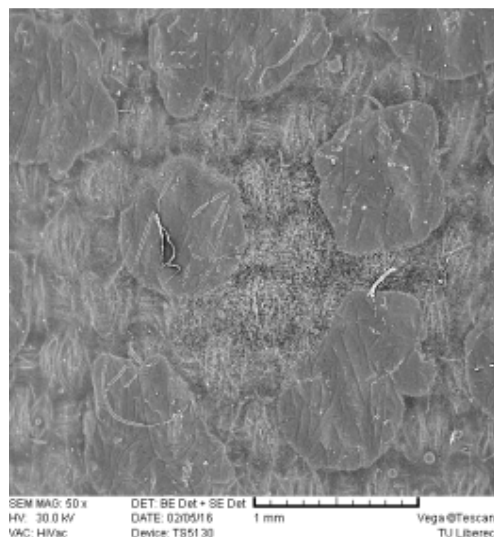
### 2.2.1 Mikroskopické snímky materiálů

Mikroskopické snímky materiálů byly pořízeny na elektronovém rastrovacím mikroskopu Vega©Tescan, umístěném v laboratoři katedry textilních materiálů.

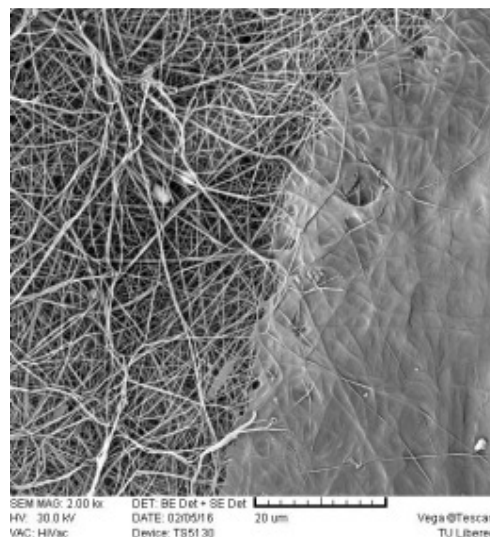
Pozorována byla především rubní strana vzorků; snímán byl povrch rubní strany vzorků a jejich příčné řezy. Zejména byla sledována místa, kde dochází k překrytí membrány pojivými body nebo nánosem barviva.

### 2.2.1.1 Snímky laminátu s nanovláknennou membránou bez potisku

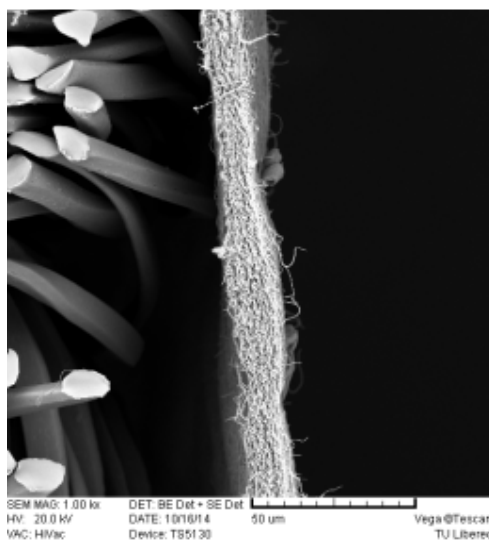
Obrázek 16 a) je 50x zvětšený povrch nanovláknenné membrány se znatelnými body pojiva mezi vrchní textilií (tkaninou) a nanovláknennou membránou. Na obrázku 16 b) je zachycen přechod mezi pojivým bodem a nanovláknny zvětšený 2000x a obrázek 16 c) zobrazuje příčný řez laminátem bez potisku zvětšený 1000x.



a)



b)



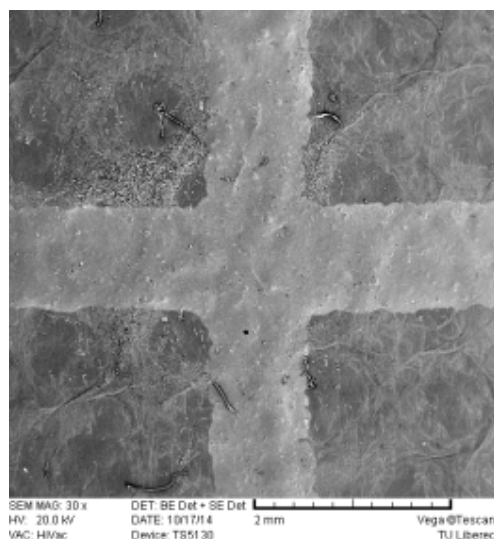
c)

Obrázek 16: Povrch nanovláknenné membrány zvětšený 50x a), povrch nanovláknenné membrány zvětšený 2000x b), řez nanovláknennou membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky]

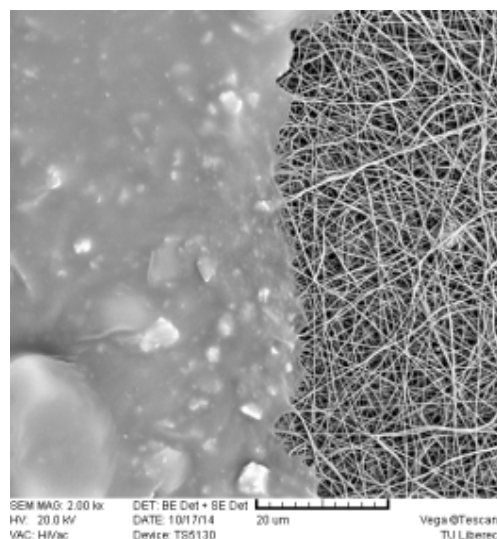


### 2.2.1.2 Snímky laminátu s nanovláknennou membránou s 20 % zakrytím plochy potiskem

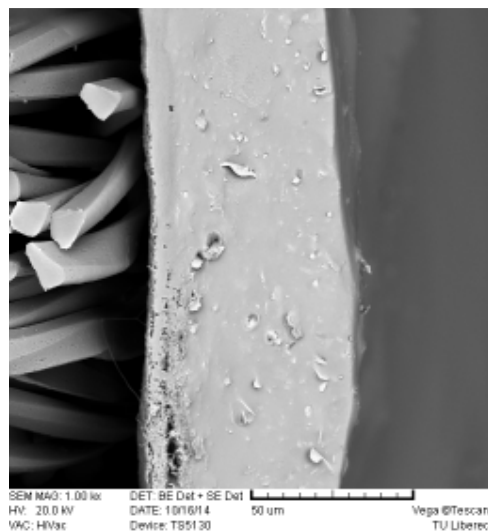
Snímek 30x zvětšeného povrchu nanovláknenné membrány s 20 % zakrytím plochy potiskem znázorňuje obrázek č. 17 a). Obrázek 17 b) je 2000x zvětšený povrch membrány se zřetelným přechodem mezi potiskem a nanovláknny. Příčný řez laminátem s nanovláknennou membránou opatřenou nánosem barviva pro 20 % zakrytí plochy potiskem zvětšený 1000x je znázorněn na obrázku č. 17 c).



a)



b)

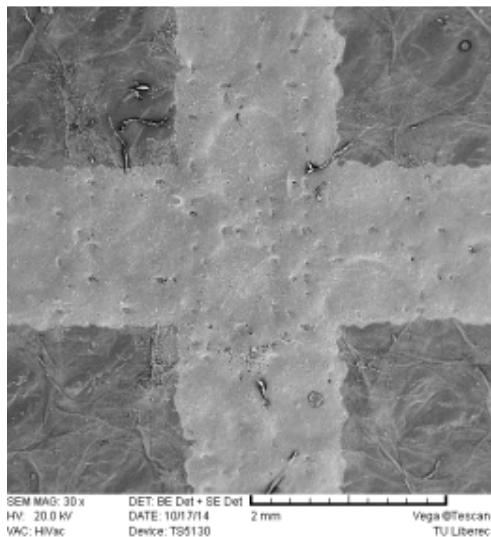


c)

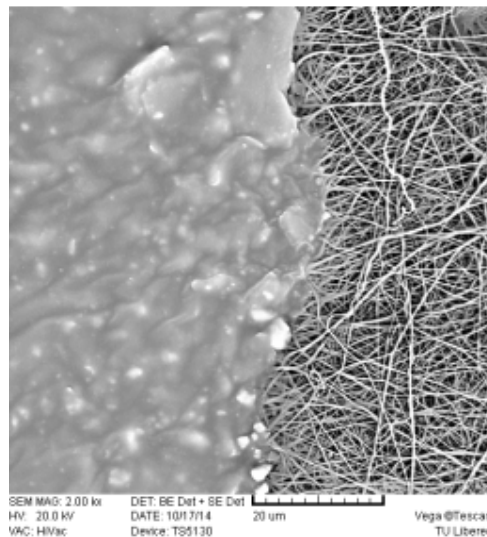
Obrázek 17: Povrch nanovláknenné membrány zvětšený 30x a), povrch nanovláknenné membrány zvětšený 2000x b), řez nanovláknennou membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky]

### 2.2.1.3 Snímky laminátu s nanovláknennou membránou s 30 % zakrytím plochy potiskem

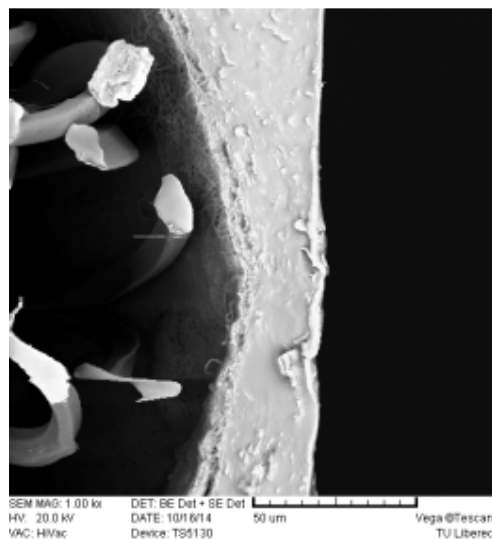
Snímek nanovláknenné membrány s 30 % zakrytím plochy potiskem zvětšený 30x je znázorněn na obrázku 18 a). Obrázek 18 b) znázorňuje zřetelný přechod mezi nanovláknennou membránou a potiskem při 2000x zvětšení. Příčný řez laminátem s 30 % zakrytím plochy potiskem zvětšený 1000x je znázorněn na obrázku č. 18 c).



a)



b)

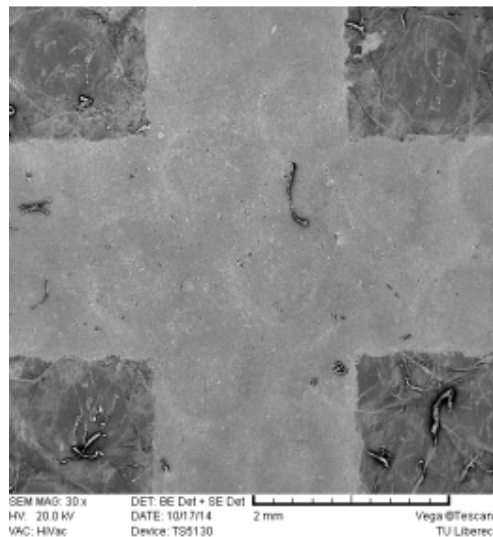


c)

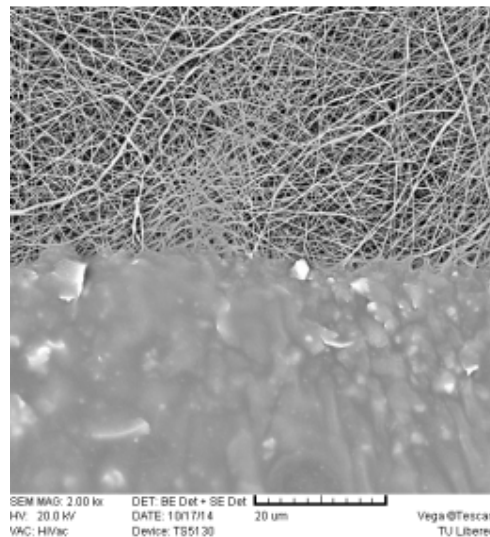
Obrázek 18: Povrch nanovláknenné membrány zvětšený 30x a), povrch nanovláknenné membrány zvětšený 2000x b), řez nanovláknennou membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky]

#### 2.2.1.4 Snímky laminátu s nanovláknennou membránou s 40 % zakrytím plochy potiskem

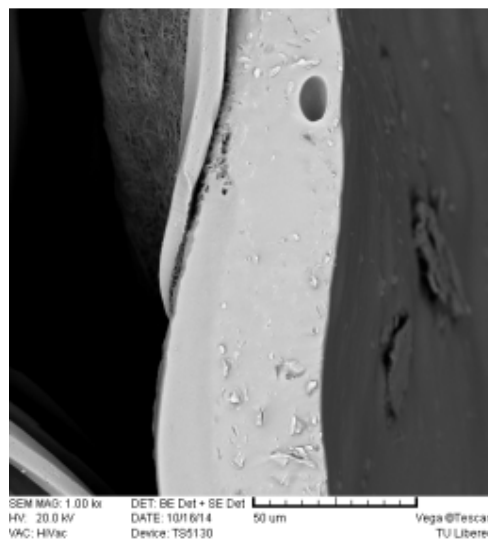
Povrch nanovláknenné membrány s 40 % zakrytím plochy potiskem zvětšený 40x je znázorněn na obrázku 19 a). Přechod mezi nanovláknny a vrstvou barviva je zřetelný na obrázku 19 b) zvětšeném 2000x. Na obrázku 19 c) je znázorněn 1000x zvětšený příčný řez laminátem s 40 % zakrytím plochy potiskem.



a)



b)



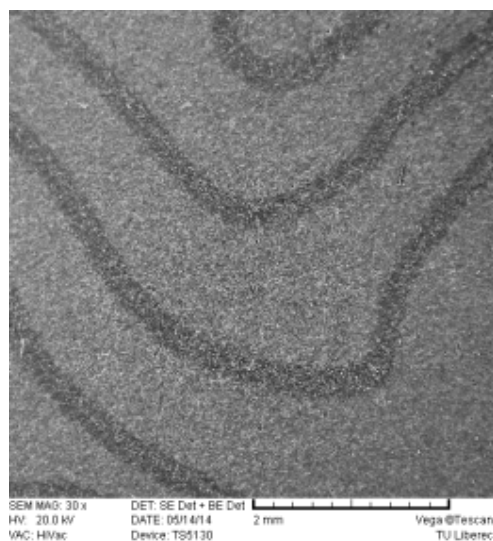
c)

Obrázek 19: Povrch nanovláknenné membrány zvětšený 30x a), povrch nanovláknenné membrány zvětšený 2000x b), řez nanovláknennou membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky]

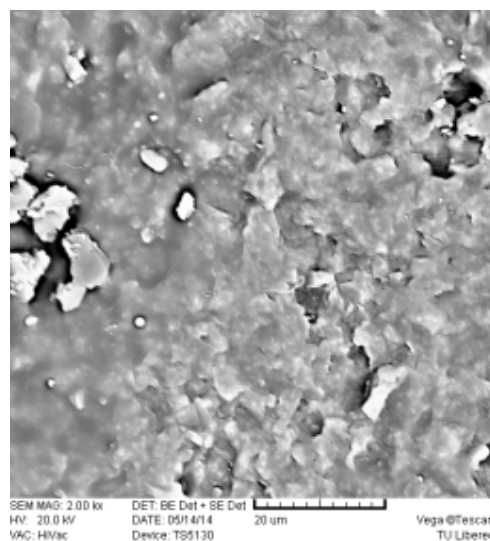


### 2.2.1.5 Snímky laminátu s hydrofilní neporézní membránou s 29,5 % zakrytím plochy potiskem

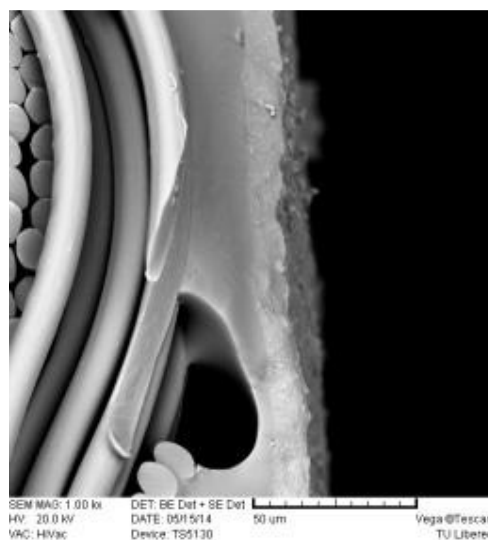
Na obrázku 20 a) je znázorněna 30x zvětšená plocha hydrofilní neporézní membrány s potiskem. Zvětšený povrch membrány 2000x je na obrázku 20 b), na povrchu je vrstva potisku a přechod mezi potiskem a povrchem membrány velmi nezřetelný. Obrázek 20 c) znázorňuje 1000x zvětšený příčný řez laminátem, na kterém je patrná silná vrstva lepidla mezi vrchovou textilií a hydrofilní neporézní membránou.



a)



b)

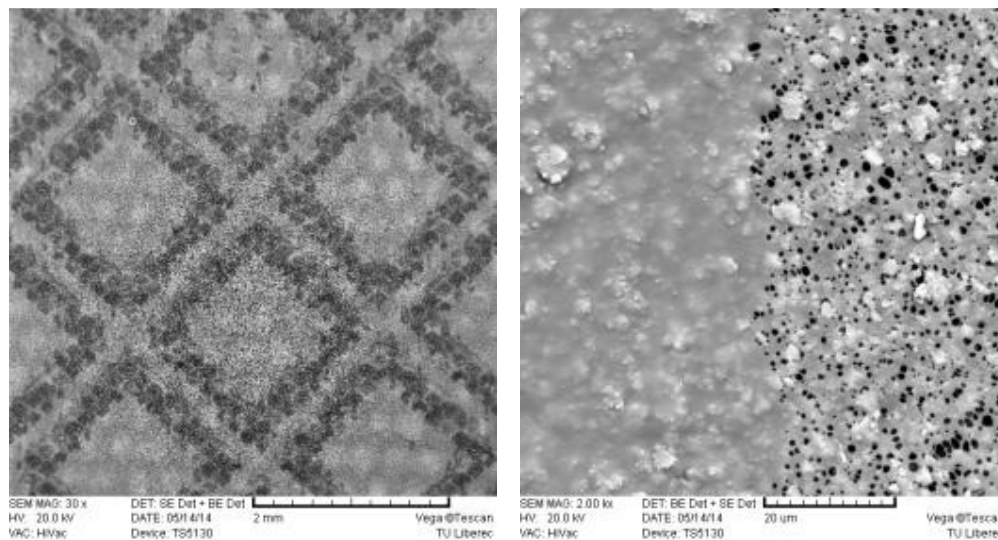


c)

Obrázek 20: Povrch membrány zvětšený 30x a), povrch membrány zvětšený 2000x b), řez membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky]

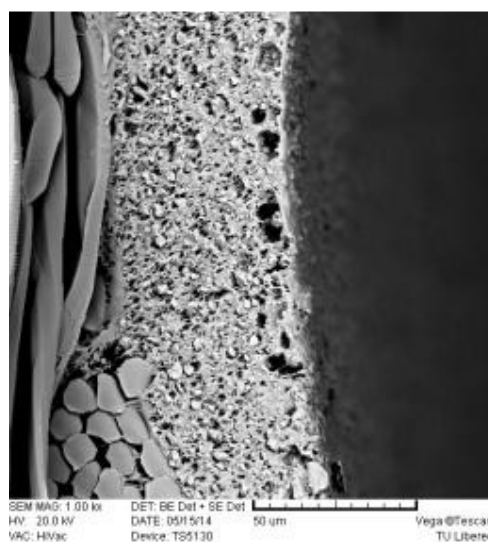
**2.2.1.6 Snímky mikroporézního zátěru s 52 % zakrytím plochy potiskem**

Snímek mikroporézního zátěru zvětšený 30x je znázorněn na obrázku 21 a). Na obrázku 21 b) je povrch zátěru zvětšený 2000x, jsou zde znatelné mikropóry a také zřetelný přechod mezi potiskem a zátěrem. Příčný řez zátěrem zvětšen 1000x je zobrazen na obrázku 21 c),



a)

b)



c)

Obrázek 21: Povrch zátěru zvětšený 30x a), povrch zátěru zvětšený 2000x b), řez zátěrem zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky]

## 2.3 Postup při měření

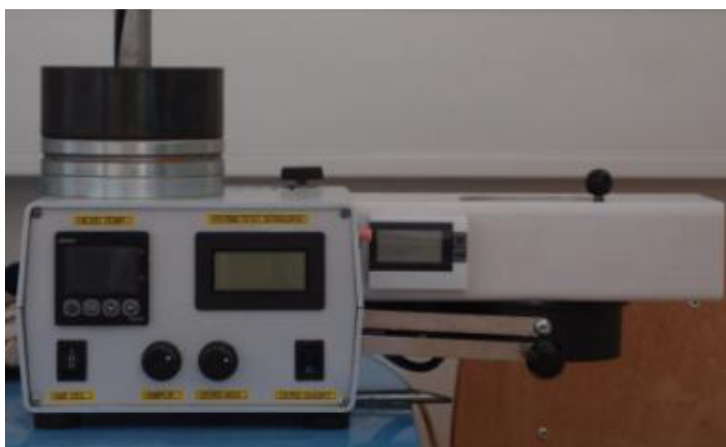
V průběhu měření byl kladen důraz na zjištění chování u laminátů s nanovláknennou membránou s rozdílným procentuálním zakrytím ploch potiskem. Provedeny a vyhodnoceny byly zkoušky výparného odporu, prodyšnosti vzduchu, hydrostatické odolnosti a odolnosti v oděru.

Pro dané zkoušky bylo nejprve provedeno porovnání materiálů s nanovláknennou membránou bez potisku, s 20 %, 30% a 40% zakrytím plochy potiskem. Dvouvrstvé lamináty s nanovláknennou membránou s rozdílným procentuálním zakrytím byly následně porovnány s konkurenčními materiály.

### 2.3.1 Měření výparného odporu

Výparný odpor byl měřen pomocí přístroje PERMETEST, viz obrázek č. 22, určeného pro měření relativní propustnosti textilií pro vodní páry a výparného odporu textilií.

Přístroj je založen na přímém měření tepelného toku  $q$ , procházejícího porézním povrchem tepelného modelu lidské pokožky. Povrch modelu je porézní a je zvlhčován, čímž simuluje funkci ochlazení pocením. Na tento povrch je přes separační fólii přiložen zkoušený materiál. Přes vnější stranu materiálu je přiváděn vzduch. [5]



Obrázek 22: Přístroj PERMETEST [Vlastní snímek]

Při měření jsou izotermické podmínky měřící hlavičky zajištěny pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržována na teplotě okolního vzduchu (20 - 23°C)

nasávaného do přístroje. Při měření se vlhkost v porézní vrstvě mění v páru procházející přes separační folii a vzorek. Nejprve se změří tepelný tok bez vzorku, poté znovu se vzorkem. Přístroj registruje odpovídající tepelné toky  $q_0$  a  $q_v$ . Příslušný výparný tepelný tok je měřen snímačem. Jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie a nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. Přístroj PERMETEST komunikuje s počítačem pomocí programu PERMETESTR, jenž umožňuje zobrazovat, ukládat a statisticky vyhodnocovat data. [5]

Nejprve byl změřen tepelný tok bez vzorku; následovalo měření tepelného toku se vzorkem se zakrytou měřicí hlavicí přístroje kalibrační tkaninou, pro kterou jsou známy hodnoty výparného odporu a propustnosti pro vodní páry. Po dokončení tohoto měření byl přístroj zkalibrován. Při samotném měření vzorku byl nejprve změřen tepelný tok bez vzorku. V dalším kroku byla měřicí hlavička zakryta vzorkem a proběhlo měření výparného odporu materiálu. Naměřené hodnoty byly zobrazeny v programu PERMETESTR.

Zkouška byla provedena v souladu s ČSN EN 31092. Měření bylo provedeno při teplotě 22,6°C a relativní vlhkosti vzduchu 35 %. Zkušební plocha vzorku byla 20 cm<sup>2</sup> a měření bylo opakováno desetkrát. Výparný odpor  $R_{et}$  je udáván v [ $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ ].

### 2.3.2 Měření prodyšnosti vzduchu

Měření prodyšnosti vzduchu bylo provedeno na přístroji TEXTTEST FX 3300, určeného pro měření prodyšnosti vzduchu plošných textilií, znázorněného na obrázku č. 23.

Princip tohoto přístroje spočívá ve vytvoření rozdílných tlaků mezi povrchy testovaného vzorku a změření takto vyvolaného průtoku vzduchu. Měření bylo provedeno dle ČSN EN ISO 9237, která definuje prodyšnost jako rychlost proudícího vzduchu přes vzorek textilie za specifikovaných podmínek pro měřenou plochu, tlakový spád a dobu. [12]



Obrázek 23: Přístroj TEXTEST FX 3300 [Vlastní snímek]

Měření bylo provedeno při teplotě 22,5°C a relativní vlhkosti vzduchu 38 %. Pro měření byla zvolena plocha upínací čelisti 20 cm<sup>2</sup>. Tlakový spád byl pomocí ovladače nastaven na 100 Pa a jednotky pro měření byly nastaveny na [l/m<sup>2</sup>/s]. Přístroj byl aktivován pomocí hlavního vypínače a přibližně po 10 sekundách byl připraven k měření. Přes měřicí hlavu byl bez napětí vložen vyrovnaný vzorek textilie. Následným zmáčknutím upínacího ramene do dolní polohy, bylo automaticky spuštěno proudění vzduchu. Pomocí ovladače byl nastaven odpovídající rozsah měření – barevný indikátor byl stabilizován v zelené zóně. Hodnoty měření byly zobrazeny na displeji přístroje, po ustálení byla výsledná hodnota zaznamenána. Upínací rameno bylo tlakem zvednuto do výchozí polohy, proudění vzduchu se zastavilo a zkouška byla automaticky ukončena. Měření bylo opakováno desetkrát.

### 2.3.3 Měření hydrostatické odolnosti

Hydrostatická odolnost textilií byla měřena na přístroji Hydrostatic Head Tester M018 SDL Atlas, Inc, dle normy ČSN EN 20811 (80 0818). Přístroj je znázorněn na obrázku č. 24.

Princip měření spočívá v zjištění hodnoty tlaku vody, při kterém dojde k penetraci měřenou textilií. Vzorek je upnut shora hlavicí na ruční upnutí, voda je přiváděna pod tlakem ke vzorku ze spodu. [13]



Obrázek 24: Přístroj SDL Atlas M018 [Vlastní snímek]

Před začátkem měření byl zapnut přístroj, testovací prostor tvaru kruhu o rozměru  $100\text{ cm}^2$  byl naplněn po testovací hladinu vodou. Následně bylo nastaveno měření na displeji, jednotky měření byly zvoleny centimetry vodního sloupce, přírůstek tlaku byl stanoven na 60 cm vodního sloupce za minutu. Po nastavení byl displej vrácen do výchozího zobrazení. Vzorek byl položen lícem dolů do testovacího prostoru, upnut ručně hlavicí a dotáhnut na maximum. Poté bylo tlačítkem Start spuštěno měření. V průběhu měření byl kontrolován přírůstek vodního tlaku na displeji a zároveň povrch testované textilie do té doby, než byl zaregistrován konec měření, tj. průnik prvních třech kapek přes textilií, porušení vzorku nebo pokles tlaku. Po proniknutí třech kapek přes vzorek byla odečtena hodnota z displeje a tlačítkem Stop byl test ukončen. Byla uvolněna upínací hlavice, vyjmut vzorek a vypuštěna voda z testovacího prostoru a prostor byl osušen. Pro každý vzorek bylo měření opakováno třikrát. Měření bylo prováděno při teplotě  $22,5^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti vzduchu 38 %.

### 2.3.4 Měření odolnosti v oděru

Odolnost v oděru byla měřena na přístroji SDL Atlas M235 Martindale, viz obrázek č. 25, používaného pro testování odolnosti textilií proti oděru a posuzování žmolkovatosti textilií.

Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 12947-2, Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 2: Zjišťování poškození vzorku.



Obrázek 25: Přístroj SDL Atlas M235 [15]

Podstatou zkoušky je kruhový vzorek upnutý v držáku vzorků. Vzorek je vystaven stanovenému přítlaku a je odírán o standardní textilií postupným pohybem, sledujícím Lissajousův obrazec. Držák vzorků, ve kterém je vzorek uložen, je volně otočný kolem své osy, kolmé k ploše vzorku. Odolnost v oděru plošné textilie se zjistí intervalem otáček do dosažení poškození zkušebního vzorku. [14]

Měření bylo prováděno při teplotě 22°C a relativní vlhkosti vzduchu 63 %. Celková hmotnost zatížení při oděru byla  $595 \pm 7$  g a jmenovitý přítlak byl 9 kPa. Průměr zkušebních vzorků byl 38 mm, průměr odírací textilie a plstěné podložky byl 140 mm. Zkušební vzorek byl uložen lícovou stranou dolů do upínacího kroužku držáku, na něj byla položena podložka z pěnového materiálu o stejném rozměru. Vložka držáku vzorku byla umístěna do upínacího kroužku, těleso držáku vzorku bylo umístěno nad upínací kroužek a pevně zašroubováno. Zkušební přístroj byl uveden do pohybu a vzorky byly po stanoveném počtu otáček kontrolovány. Držáky vzorků s upnutými vzorky byly vyjmuty z přístroje a byly zkoumány známky poškození. Pokud nedošlo k poškození, držáky se umístily zpět do přístroje a byl nastaven další zkušební interval. Takto bylo postupováno, dokud nebylo zpozorováno porušení vzorku. U každého zkušebního vzorku byl zaznamenán interval, při kterém došlo k poškození.

## 2.4 Vyhodnocení měření u laminátu s nanovláknennou membránou

Při vyhodnocení materiálů s nanovláknennou membránou byl kladen důraz na zjištění jejich vlastností v závislosti na rozdílném procentuálním zakrytí plochy potiskem. Porovnávány byly mezi sebou vzorky bez potisku, s 20 %, 30 % a 40 % zakrytím plochy nánosem barviva pro hodnocené zkoušky výparného odporu, prodyšnosti vzduchu, hydrostatické odolnosti a odolnosti v oděru.

Pro vyhodnocení výsledků byl použit program MS Excel a Statistica. Všechny naměřené hodnoty jsou data z normálního rozdělení. Jako metoda vyhodnocení výparného odporu, prodyšnosti vzduchu a hydrostatické odolnosti byla použita jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA). Odezvou pro vyhodnocení byl výparný odpor, prodyšnost vzduchu a hydrostatická odolnost. Faktor byl procentuální zakrytí potiskem (0 %, 20 %, 30 %, 40 %). Dle typu odezvy byl pro každou zkoušku připraven požadovaný počet vzorků dle stanovených norem. Zkouška odolnosti v oděru byla zhodnocena zvlášť, subjektivně.

$H_0$ : Výparný odpor, prodyšnost, hydrostatická odolnost nezávisí na procentuálním zakrytí membrány potiskem.

$H_1$ : Výparný odpor, prodyšnost, hydrostatická odolnost závisí na procentuálním zakrytí membrány potiskem.

Výsledky byly vyhodnocovány na hladině  $\alpha=0,05$  %.

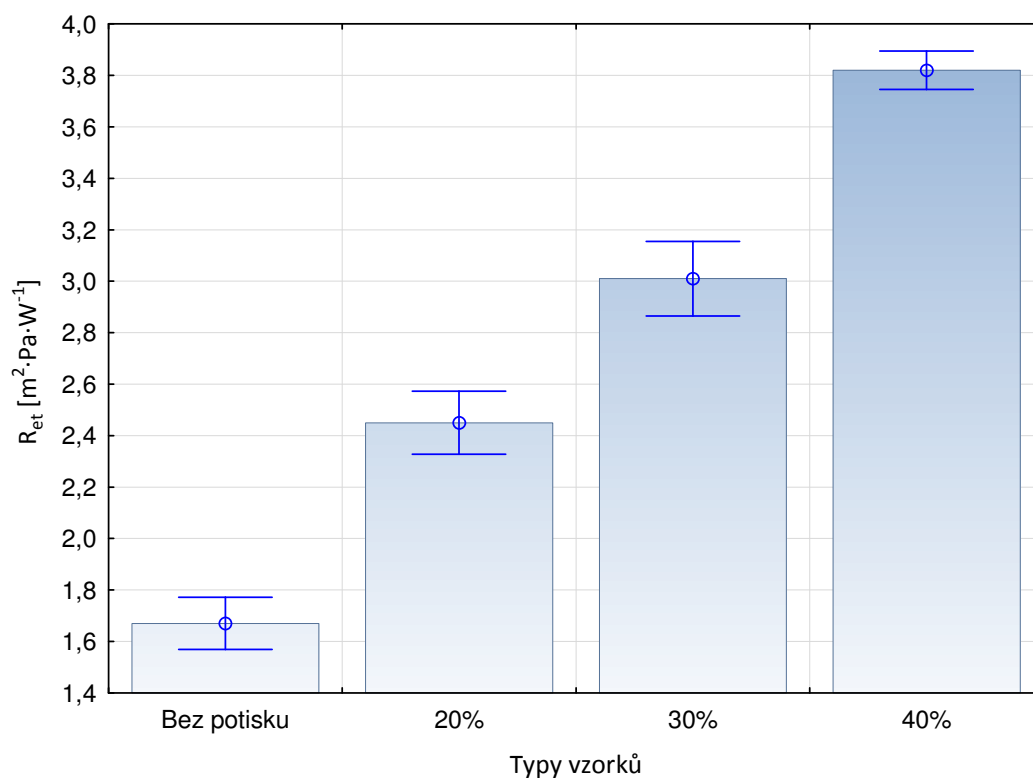
### 2.4.1 Výparný odpor

Výsledky měření výparného odporu byly vyhodnoceny jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA), viz tabulka č. 5. Na hladině významnosti  $\alpha=0,05$  % zamítáme  $H_0$  a přijímáme  $H_1$ ; výparný odpor závisí na procentuálním zakrytí membrány potiskem. Naměřené hodnoty materiálů pro výparný odpor jsou uvedeny v příloze A.



Tabulka 5: Jednofaktorová ANOVA pro výparný odpor

ANOVA						
Zdroj variability	SS	Stupně volnosti	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	24,68275	3	8,2275833	325,1295	4,041E-26	2,86626
Všechny výběry	0,911	36	0,0253056			
Celkem	25,59375	39				



Graf 1: Mnohonásobné srovnávání výparného odporu

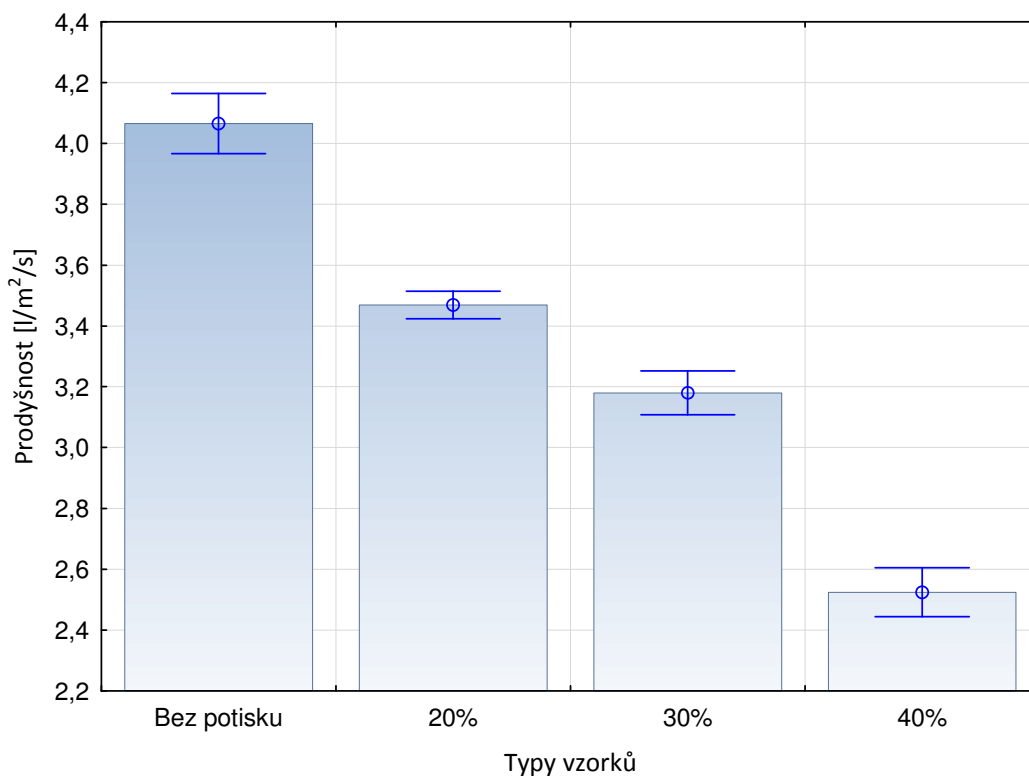
Z grafu mnohonásobného srovnávání, viz graf č. 1, vyplývá, že hodnoty výsledků jednotlivých materiálů se nepřekrývají, jsou tedy statisticky významné a data se liší. Pro tento druh textilních materiálů je žádána co nejvyšší propustnost textilií pro vodní páry. Aby materiály tento parametr splňovaly, musí být jejich hodnota výparného odporu  $R_{et}$  co nejnižší. Z grafu je patrné, že tento parametr splňuje nejlépe materiál bez potisku, s vyšším zakrytím se hodnota výparného odporu zvyšuje. Jestliže budou brány v úvahu pouze materiály s potiskem, nejnižší výparný odpor vodních par splňuje laminát s nanovláknennou membránou s 20 % zakrytím plochy potiskem.

## 2.4.2 Prodyšnost vzduchu

Jako metoda pro vyhodnocení prodyšnosti vzduchu byla použita jednofaktorová ANOVA, výsledky vyhodnocené touto metodou jsou znázorněny v tabulce č. 6. Na hladině významnosti  $\alpha=0,05$  % zamítáme  $H_0$  a přijímáme  $H_1$ ; prodyšnost vzduchu závisí na procentuálním zakrytí membrány potiskem. Naměřené hodnoty materiálů pro prodyšnost vzduchu jsou uvedeny v příloze B.

Tabulka 6: Jednofaktorová ANOVA pro prodyšnost vzduchu

ANOVA						
Zdroj variability	SS	Stupně volnosti	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	12,31513	3	4,1050425	357,6773	7,7027E-27	2,8663
Všechny výběry	0,41317	36	0,011477			
Celkem	12,7283	39				



Graf 2: Mnohonásobné srovnávání prodyšnosti vzduchu

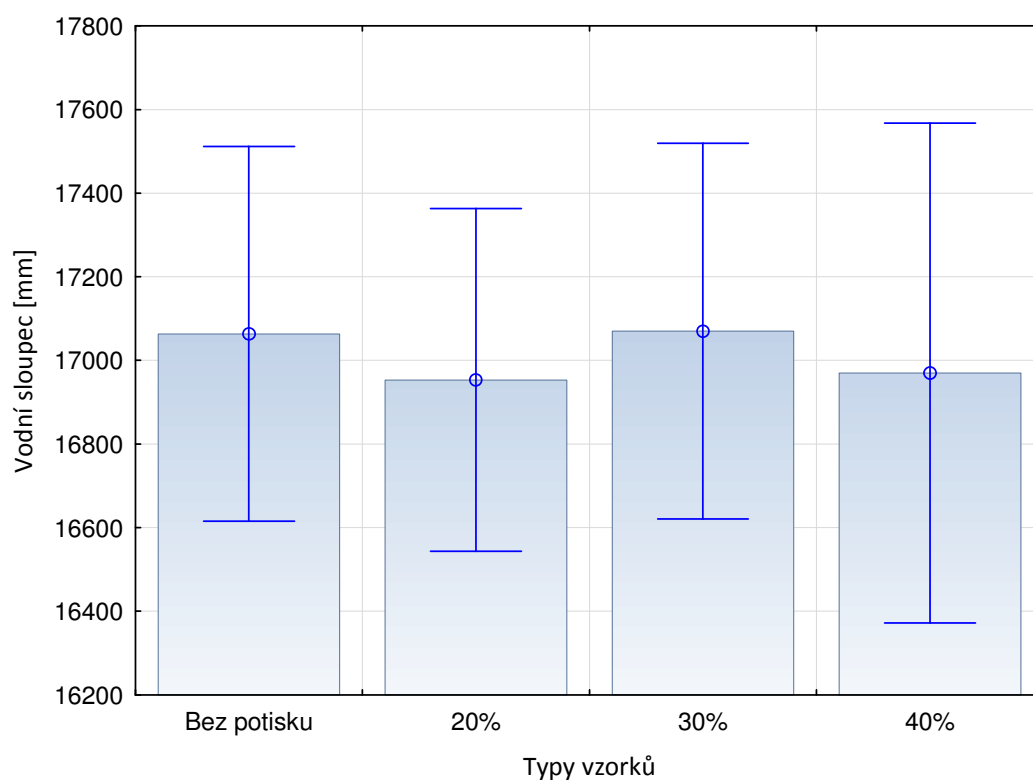
Z grafu mnohonásobného srovnávání, viz graf č. 2, je patrné, že hodnoty výsledků se liší, data se nepřekrývají a jsou tedy statisticky významná. U oděvních materiálů pro tento druh použití je vysoká prodyšnost nežádoucí. Z grafu č. 2 vyplývá, že tento požadavek splňuje nejlépe materiál s 40 % zakrytím membrány potiskem; s klesajícím zakrytím se prodyšnost materiálů zvyšovala.

### 2.4.3 Hydrostatická odolnost

Pro vyhodnocení zkoušky hydrostatické odolnosti materiálů byla použita jednofaktorová ANOVA, výsledky jsou znázorněné v tabulce č. 7. Na hladině významnosti  $\alpha=0,05$  % nezamítáme  $H_0$ ; hydrostatická odolnost nezávisí na procentuálním zakrytí membrány potiskem. Naměřené hodnoty hydrostatické odolnosti materiálů jsou uvedeny v příloze C.

Tabulka 7: Jednofaktorová ANOVA pro hydrostatickou odolnost

ANOVA						
Zdroj variability	SS	Stupně volnosti	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	33558,33	3	11186,111	0,29757	0,8263538	4,06618
Všechny výběry	300733,3	8	37591,667			
Celkem	334291,7	11				



Graf 3: Mnohonásobné srovnávání hydrostatické odolnosti

Data v grafu mnohonásobného srovnávání pro zkoušku hydrostatické odolnosti, viz graf č. 3, se překrývají, neliší se a jsou tedy statisticky nevýznamná. Procentuální zakrytí membrány potiskem tedy není pro hydrostatickou odolnost materiálu určující a nijak ji neovlivňuje.

#### 2.4.4 Odolnost v oděru

Zkouška odolnosti v oděru byla hodnocena subjektivně. Odírány byly čtyři vzorky, membrána bez potisku, s 20 %, 30 % a 40 % zakrytím membrány potiskem. Odírání začalo mít na nanovláknennou membránu vliv po 50 otáčkách, kdy došlo k lehkému odření všech vzorků a vytvoření první trhlinky v membráně u vzorku bez potisku, viz obrázek č. 26. Po 60 otáčkách došlo k vytvoření první trhlinky i na ostatních vzorcích. Po 70 otáčkách došlo k nárůstu trhlinek na membráně bez potisku a mírnému nárůstu odření na ostatních vzorcích. Po 80 otáčkách došlo k nepatrnému nárůstu odření u všech vzorků. Po 90 otáčkách došlo k opětovnému nárůstu odření a trhlinek. Po 100 otáčkách došlo opět k nárůstu odření, viz obrázek č. 27. Následovně docházelo u vzorků k dalšímu nárůstu odření membrány. Po 150 otáčkách byl znatelný nárůst odření u všech vzorků, viz obrázek č. 28. Se zvyšujícím se počtem otáček docházelo k dalšímu nárůstu odření vzorků. Po 200 otáčkách došlo na všech vzorcích víceméně k celkovému odření membrány, viz obrázek č. 29. Během odírání vzorků s nanovláknennou membránou opatřenou nánosem barviva s rozdílným procentuálním zakrytím plochy nedošlo k narušení nebo odření této vrstvy barviva. Ochranná vrstva tedy má na odolnost v oděru vliv.



Obrázek 26: Odolnost v oděru po 50 otáčkách [Vlastní snímek]



Obrázek 27: Odolnost v oděru po 100 otáčkách [Vlastní snímek]



Obrázek 28: Odolnost v oděru po 150 otáčkách [Vlastní snímek]



Obrázek 29: Odolnost v oděru po 200 otáčkách [Vlastní snímek]

## 2.5 Vyhodnocení měření laminátu s nanovláknennou membránou s konkurenčními materiály

Materiály s nanovláknennou membránou s rozdílným procentuálním zakrytím plochy potiskem byly následně porovnány s konkurenčními materiály, dvouvrstevným laminátem a mikroporézním zátěrem, z jejichž hodnot zakrytí povrchu potiskem bylo vycházeno.

Jelikož z předešlého vyhodnocení laminátu s nanovláknennou membránou nebylo možné jednoznačně určit, jaké procentuální zakrytí membrány potiskem je pro hodnocené zkoušky nejvhodnější, budou v následujícím vyhodnocení porovnávány vzorky laminátů s nanovláknennou membránou s 20 %, 30 % a 40 % zakrytím

s konkurenčními materiály, s dvouvrstevným laminátem s hydrofilní neporézní membránou a materiálem s mikroporézním zátěrem.

Pro vyhodnocení byl použit program MS Excel a Statistica. Všechny naměřené hodnoty byla data z normálního rozdělení. Metoda pro vyhodnocení výparného odporu, prodyšnosti vzduchu a hydrostatické odolnosti byla použita jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA). Odezvou pro vyhodnocení byl výparný odpor, prodyšnost vzduchu a hydrostatická odolnost. Faktor pro vyhodnocení byl materiál. Dle typu odezvy byl pro každou zkoušku připraven požadovaný počet vzorků dle stanovených norem. Zkouška odolnosti v oděru byla zhodnocena zvlášť, subjektivně.

$H_0$ : Výparný odpor, prodyšnost, hydrostatická odolnost nezávisí na použitém materiálu.

$H_1$ : Výparný odpor, prodyšnost, hydrostatická odolnost závisí na použitém materiálu.

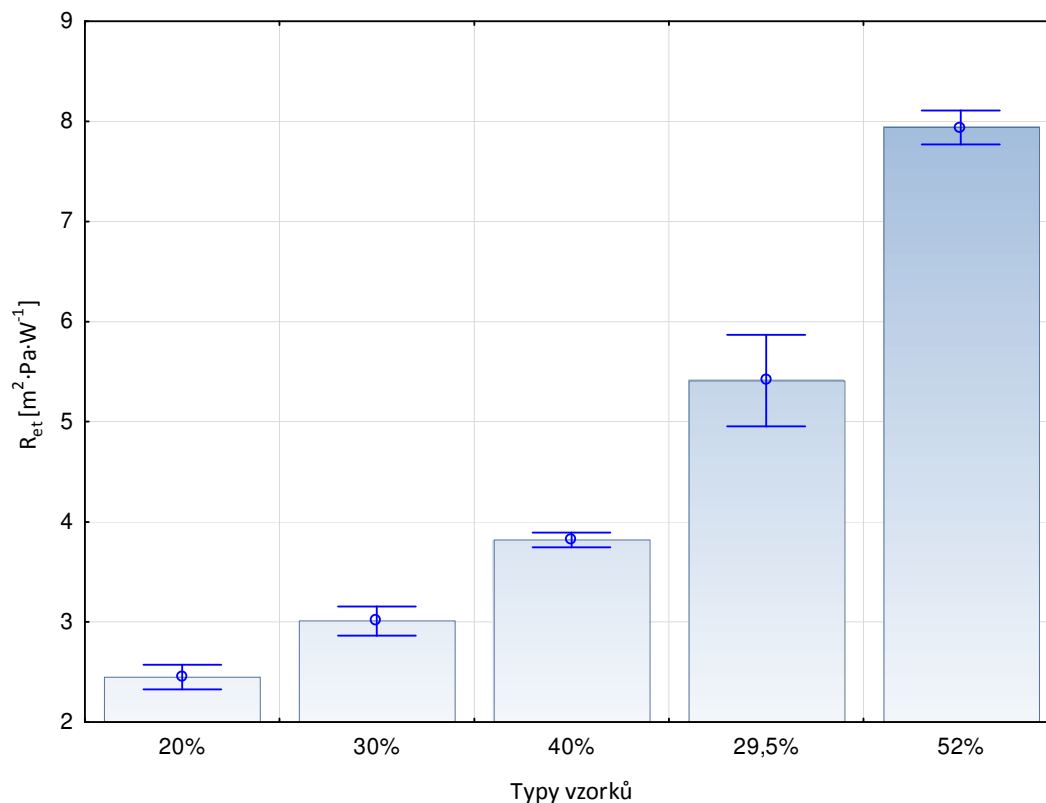
Výsledky byly vyhodnocovány na hladině  $\alpha=0,05$  %.

### 2.5.1 Výparný odpor

Měření výparného odporu bylo vyhodnoceno jednofaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA), její výsledky jsou znázorněné v tabulce č. 8. Na hladině významnosti  $\alpha=0,05$  % zamítáme  $H_0$  a přijímáme  $H_1$ ; výparný odpor závisí na použitém materiálu. Naměřené hodnoty materiálů pro výparný odpor jsou uvedeny v příloze A.

Tabulka 8: Jednofaktorová analýza rozptylu pro výparný odpor

ANOVA						
Zdroj variability	SS	Stupně volnosti	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	195,4332	4	48,8583	448,42413	1,278E-35	2,57874
Všechny výběry	4,903	45	0,10896			
Celkem	200,3362	49				



Graf 4: Mnohonásobné srovnávání výparného odporu

Z grafu mnohonásobného srovnávání pro výparný odpor, viz graf č. 4, je patrné, že hodnoty výsledků jednotlivých vzorků se nepřekrývají, data se liší a jsou tedy statisticky významná. Výparný odpor je pro textilní lamináty určené jako svrchní materiál pro outdoorové a ochranné oděvy velmi důležitý parametr. Čím je hodnota výparného odporu  $R_{et}$  nižší, tím má materiál lepší propustnost vodních par. Z grafu vyplývá, že tuto vlastnost splňují nejlépe vzorky laminátů s nanovláknennou membránou a vzorek s hydrofilní neporézní membránou oproti materiálu s mikroporézním zátěrem. Nejlepší výparný odpor vodních par má vzorek s nanovláknennou membránou s 20 % zakrytím plochy potiskem, naopak nejvyšší a tedy nejhorší výparný odpor byl u vzorku materiálu s mikroporézním zátěrem. Pokud budeme vycházet z tabulky č. 1 (Klasifikace propustnosti textilií pro vodní páry), jsou lamináty s nanovláknennou membránou a hydrofilní neporézní membránou hodnoceny jako materiály s velmi dobrou propustností vodních par, materiál s mikroporézním zátěrem je hodnocen jako materiál s dobrou propustností vodních par.

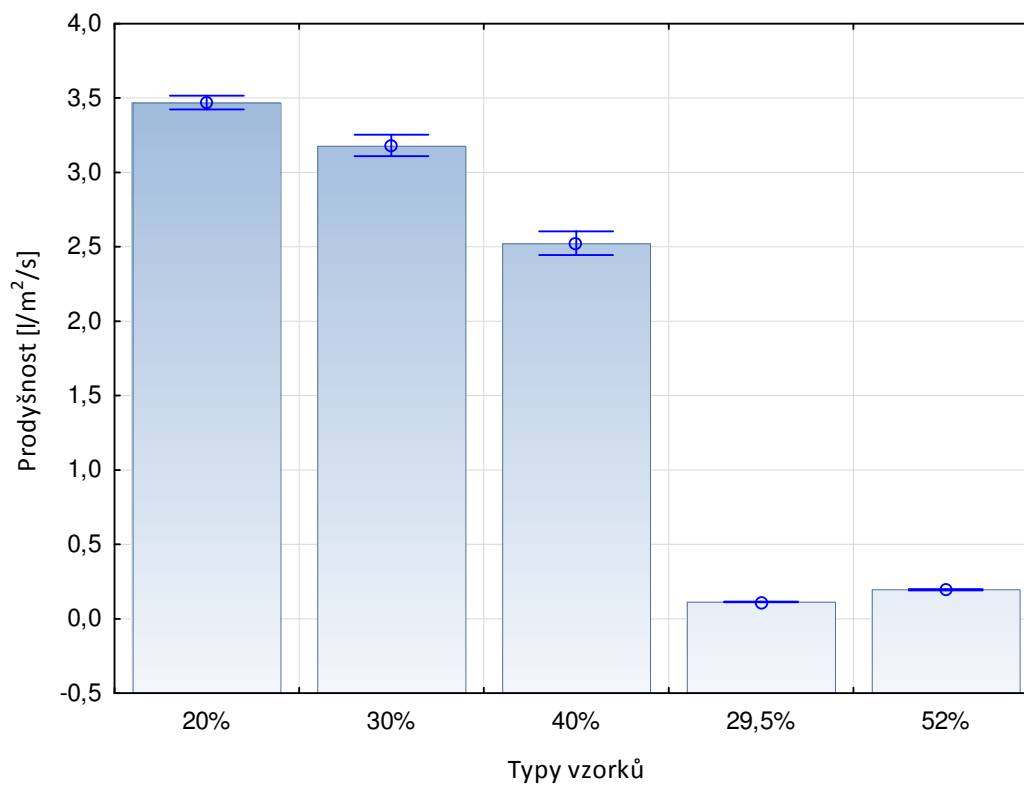


## 2.5.2 Prodyšnost vzduchu

Pro vyhodnocení zkoušky prodyšnosti vzduchu byla použita jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA), výsledky vyhodnocené touto metodou jsou znázorněny v tabulce č. 9. Na hladině významnosti  $\alpha=0,05$  % zamítáme  $H_0$  a přijímáme  $H_1$ ; prodyšnost vzduchu závisí na použitém materiálu. Naměřené hodnoty prodyšnosti vzduchu materiálů jsou uvedeny v příloze B.

Tabulka 9: Jednofaktorová analýza rozptylu pro prodyšnost vzduchu

ANOVA						
Zdroj variability	SS	Stupně volnosti	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	105,8955	4	26,47388	4934,376	7,963E-59	2,5787
Všechny výběry	0,24143	45	0,005365			
Celkem	106,1369	49				



Graf 5: Mnohonásobné srovnávání prodyšnosti vzduchu

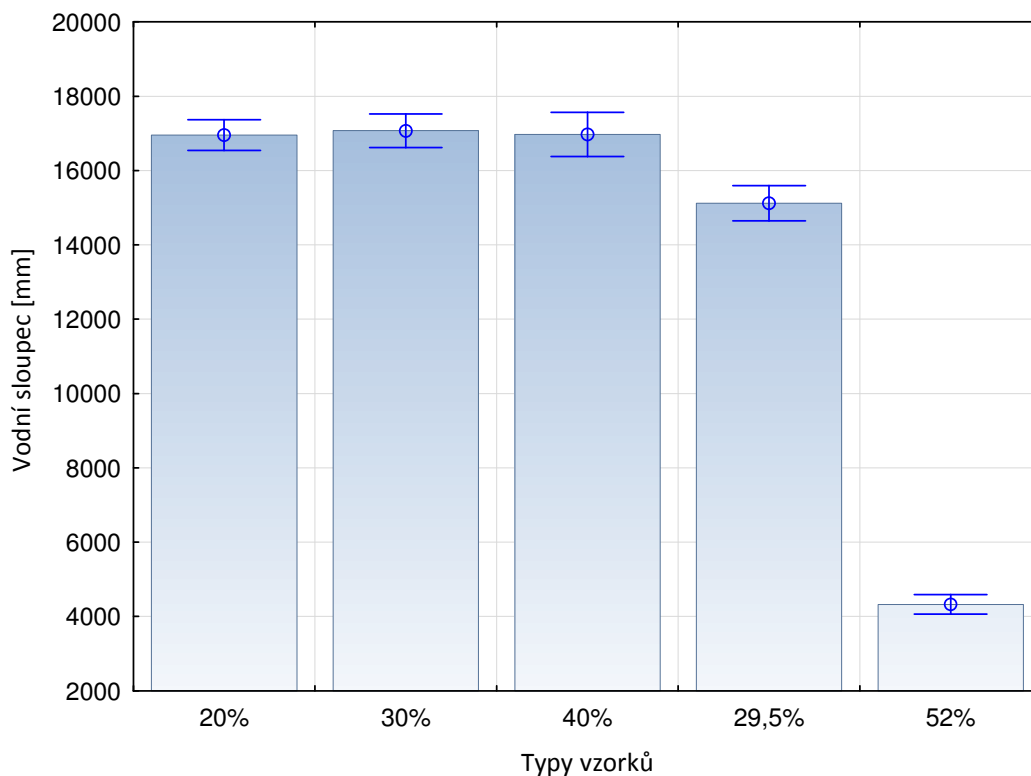
Hodnoty výsledků v grafu mnohonásobného srovnávání prodyšnosti vzduchu, viz graf č. 5, se nepřekrývají, liší se a jsou tedy statisticky významná. U textilních laminátů určených jako svrchní materiály pro outdoorové a ochranné oděvy je vysoká prodyšnost nežádoucí. Z grafu je zjevný zřetelný rozdíl mezi lamináty s nanovláknennou porézní membránou a laminátem s hydrofilní neporézní membránou a mikroporézním zátěrem; tato diference je způsobena především konstrukcí a vlastnostmi použitých membrán a materiálů. Zkouška dopadla nejlépe pro laminát s hydrofilní neporézní membránou, nepatrně vyšší prodyšnost měl vzorek mikroporézního zátěru. U vzorků s nanovláknennou membránou se prodyšnost snižovala úměrně s klesajícím procentuálním zakrytím plochy potiskem.

### 2.5.3 Hydrostatická odolnost

Hydrostatická odolnost mezi materiály byla vyhodnocena pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA), výsledky jsou znázorněny v tabulce č. 10. Na hladině významnosti  $\alpha=0,05$  % zamítáme  $H_0$  a přijímáme  $H_1$ ; hydrostatická odolnost závisí na použitém materiálu. Naměřené hodnoty hydrostatické odolnosti materiálů jsou uvedeny v příloze C.

Tabulka 10: Jednofaktorová analýza rozptylu pro hydrostatickou odolnost

ANOVA						
Zdroj variability	SS	Stupně volnosti	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	365271107	4	91317777	2756,07	3,66525E-15	3,4780
Všechny výběry	331333,33	10	33133,33			
Celkem	365602440	14				



Graf 6: Mnohonásobné srovnávání hydrostatické odolnosti

Z grafu mnohonásobného srovnávání pro hydrostatickou odolnost, viz graf č. 6, vyplývá, že data měření nanovlákněné membrány se překrývají, neliší se a jsou tedy statisticky nevýznamná. Pro hydrostatickou odolnost nelze určit ideální procentuální zakrytí nanovlákněné membrány potiskem. Data měření u zbylých vzorků se liší, nepřekrývají se. Hydrostatická odolnost laminátu s hydrofilní neporézní membránou byla v porovnání se vzorky s nanovlákněnou membránou o něco nižší. Podstatně nižších hodnot hydrostatické odolnosti oproti ostatním materiálům dosahoval vzorek materiálu s mikroporézním zátěrem. Odlišnost je způsobena konstrukcí materiálů, vlastnostmi membrán a zátěru nebo odlišným způsobem spojení vrchové textilie s membránou nebo zátěrem.

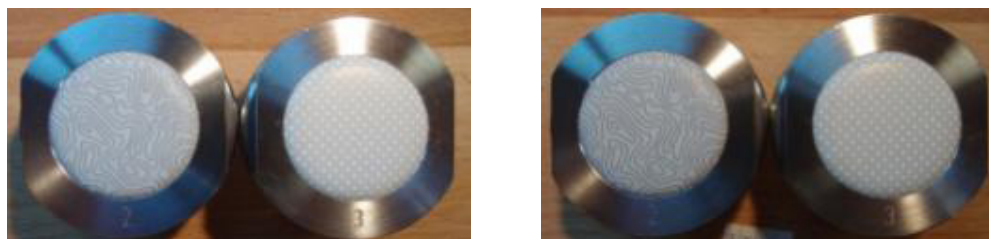
#### 2.5.4 Odolnost v oděru

Zkouška odolnosti v oděru byla hodnocena subjektivně. Odírány byly vzorky laminátů s nanovlákněnou membránou s 20 %, 30 % a 40 % zakrytím plochy potiskem, laminát s hydrofilní neporézní membránou s 29,5 % zakrytím a materiál s mikroporézním zátěrem s 52 % zakrytím plochy potiskem.

U vzorků laminátu s hydrofilní membránou a materiálu s mikroporézním zátěrem začalo po 1500 otáčkách docházet k leštění povrchu membrány a lehkému smazávání potisku, viz obrázek č. 30 a). S rostoucím počtem otáček (2000, 3000 a 4000 otáček) dosahovala membrána a zátěr stále vyššího lesku a docházelo k postupnému stírání (mazání) potisku, viz obrázky č. 30 b), 31 a) a 31 b), což má vliv na chování a vlastnosti membrány.

U vzorků s nanovláknennou membránou začalo mít odírání vliv po 50 otáčkách, viz obrázek č. 26, kdy došlo k lehkému odření všech vzorků. Se zvyšujícím se počtem otáček došlo k nárůstu odření. Po 200 otáčkách byla na všech vzorcích membrána víceméně odřena, viz obrázek č. 29. Během odírání vzorků s nanovláknennou membránou nedošlo k narušení nebo odření vrstvy potisku - ochranná vrstva tedy má vliv na ochranu membrány.

Zkoušku odolnosti v oděru jednoznačně ovlivňuje druh materiálu, hydrofilní neporézní PU membrána a mikroporézní zátěr mají podstatně vyšší odolnost v oděru, oproti tomu nanovláknenná membrána z důvodu její konstrukce podléhá oděru podstatně dříve.



Obrázek 30: Odolnost v oděru po 1500 otáčkách a), po 2000 otáčkách b) [Vlastní snímek]



Obrázek 31: Odolnost v oděru po 3000 otáčkách a), po 4000 otáčkách b) [Vlastní snímek]

## 2.6 Zhodnocení

V experimentální části byla na nanovláknenné membráně dvouvrstvého laminátu vytvořena pomocí nánosu barviva ochranná vrstva. Pro určení charakteristik této ochranné vrstvy byla provedena obrazová analýza u konkurenčních materiálů, dvouvrstvého laminátu s hydrofilní neporézní polyuretanovou membránou opatřenou potiskem a materiálu s mikroporézním zátěrem opatřeného rovněž potiskem. Při obrazové analýze byl u všech obrazů proveden stejný princip prahování, pro jednoznačné stanovení prahu byl na obrazech proveden lokální kontrast. Měřeny byly části binárních ploch potisku na membránách. V návaznosti na výsledné hodnoty konkurenčních materiálů bylo pro laminát s nanovláknennou membránou zvoleno 20 %, 30 % a 40 % zakrytí plochy potiskem. Nanovláknenná membrána byla potisknuta mřížkou o rozměrech síťky 200x200 mm, počtem buněk 20x20, o šířce linií pro 20% zakrytí 0,95 mm, pro 30% zakrytí 1,45 mm a pro 40% zakrytí 1,90 mm. Pro potisk byla použita bezftalátová vysoce krycí plastizolová barva TEXIPLAST 7000 OP.

Dvouvrstvé lamináty určené jako vnější ochranné materiály pro outdoorové děvy vhodné do nepříznivých klimatických podmínek byly vyhodnocovány ve zkouškách výparného odporu, prodyšnosti vzduchu, hydrostatické odolnosti a odolnosti v oděru. Nejprve byly porovnávány vzorky s nanovláknennou membránou bez potisku, s 20 %, 30 % a 40 % zakrytím plochy potiskem. Následně byly tyto materiály porovnávány s konkurenčním dvouvrstvým laminátem s hydrofilní neporézní membránou s 29,5 % zakrytím membrány potiskem a mikroporézním zátěrem s 52 % zakrytím plochy potiskem.

U vyhodnocení měření laminátů s nanovláknennou membránou byl nejnižší výparný odpor vodních par u materiálu bez potisku. Pokud budou brány v úvahu pouze materiály s potiskem, splňoval tento parametr nejlépe vzorek s 20 % zakrytím membrány potiskem. S rostoucím zakrytím nanovláknenné membrány potiskem se hodnota výparného odporu zvyšovala. U zkoušky prodyšnosti vzduchu, kde byla požadována co nejnižší hodnota prodyšnosti, tento požadavek nejlépe splňoval materiál s 40 % zakrytím membrány potiskem; s klesajícím zakrytím plochy potiskem se prodyšnost materiálů pro vzduch zvyšovala. Při zkoušce hydrostatické odolnosti bylo zjištěno, že procentuální zakrytí membrány potiskem nijak neovlivňuje hydrostatickou odolnost materiálu, není pro ni určující. Zkouška odolnosti v oděru měla na membránu bez potisku vliv o deset otáček dříve, než na membránu s potiskem. Během odírání

nedošlo u vzorků k narušení nebo odření potisku na nanovláknenné membráně; potisk tedy má vliv na ochranu membrány.

Optimální procentuální zakrytí plochy potiskem se u laminátů s nanovláknennou membránou v jednotlivých zkouškách liší, z tohoto důvodu byly s konkurenčními materiály porovnávány všechny vzorky.

Při zkoušce výparného odporu byly oproti konkurenčním materiálům znatelně lepší lamináty s nanovláknennou membránou. Nejnižšího výparného odporu vodních par dosáhl vzorek s 20 % zakrytím, nejhorší výparného odporu vodních par dosáhl materiál s mikroporézním zátěrem. U zkoušky prodyšnosti vzduchu dosáhly lepších výsledků oba konkurenční materiály, nejnižší prodyšnost byla u vzorku s hydrofilní neporézní membránou, nepatrně vyšší prodyšnost vzduchu měl materiál s mikroporézním zátěrem, vzorky s nanovláknennou membránou měly prodyšnost vzduchu horší a zvyšovala se úměrně s klesajícím procentuálním zakrytím plochy potiskem. U zkoušky hydrostatické odolnosti byly výsledky laminátů s nanovláknennou membránou nepatrně lepší, než výsledky vzorku s hydrofilní membránou, vzorek s mikroporézním zátěrem měl hydrostatickou odolnost podstatně nižší. Rozdílné výsledky materiálů u zkoušek výparného odporu, prodyšnosti vzduchu a hydrostatické odolnosti jsou způsobeny především konstrukcí a vlastnostmi použitých membrán a zátěru. Konstrukce a vlastnosti materiálů ovlivňovaly také zkoušku odolnosti v oděru. Hydrofilní neporézní membrána a mikroporézní zátěr měly při odírání oproti materiálům s nanovláknennou membránou zcela rozdílné vlastnosti, jejich povrch se leštil a potisk se smazával. Oproti tomu u vzorků s nanovláknennou membránou došlo k oděru samotné membrány a naopak potisk narušen nebo odřen nebyl.

## Závěr

Práce byla zaměřena na vytvoření ochranné vrstvy pomocí nánosu barviva na nanovláknennou membránu dvouvrstvého laminátu určeného jako textilní materiál pro outdoorové oděvy do nepříznivých klimatických podmínek. Tato vrstva byla vytvořena především za účelem ochrany membrány při namáhání a zároveň zachování jejich specifických vlastností. Pro získání charakteristik ochranné vrstvy byla provedena obrazová analýza vnitřní vrstvy konkurenčních materiálů opatřených potiskem. V návaznosti na získané hodnoty byly vytvořeny vlastní návrhy ochranné vrstvy pro nanovláknennou membránu – s 20 %, 30 % a 40 % procentuálním zakrytím plochy potiskem.

Vzorky laminátů bez potisku a s rozdílným procentuálním zakrytím plochy potiskem byly porovnány ve zkouškách výparného odporu vodních par, prodyšnosti vzduchu, hydrostatické odolnosti a odolnosti v oděru. Ve zkoušce výparného odporu dopadl nejlépe materiál bez potisku, pokud budeme brát v úvahu pouze vzorky s nánosem barviva, nejnižší výparný vodních par měl materiál s 20 % zakrytím. U dalších vzorků se výparný odpor zhoršoval úměrně k zakrytí plochy potiskem. Prodyšnost vzduchu je u materiálů pro tento typ použití nežádoucí, zkouška vyšla vzhledem k procentuálnímu zakrytí plochy potiskem nejlépe pro materiál s nejvyšším zakrytím, s klesajícím zakrytím byla prodyšnost vyšší. Oproti tomu procentuální zakrytí nanovláknenné membrány potiskem nemělo vliv na zkoušku hydrostatické odolnosti a není pro ni nijak určující. Při zkoušce odolnosti v oděru nedošlo u vzorků s potiskem k narušení nebo odření této vrstvy; oděr měl však vliv na samotnou membránu, kdy na jejím povrchu došlo nejprve k tvorbě trhlinek a následně k jejímu odření.

Ochranná vrstva potisku na nanovláknenné membráně má vliv na vlastnosti a chování materiálu. Při zkoušce výparného odporu vyšel nejlépe materiál s 20 % zakrytím plochy potiskem, při zkoušce prodyšnosti vzduchu naopak materiál s 40 % zakrytím. Na zkoušku hydrostatické odolnosti nemělo rozdílné procentuální zakrytí vliv. Z tohoto důvodu by optimální zakrytí nanovláknenné membrány potiskem mohlo být stanoveno na 30 %.

Vzorky dvouvrstvého laminátu s rozdílným procentuálním zakrytím plochy potiskem byly následně porovnány s konkurenčními materiály, dvouvrstvým laminátem s hydrofilní neporézní membránou a materiálem s mikroporézním zátěrem. Ve zkoušce

výparného odporu dopadly nejlépe vzorky s nanovláknennou membránou. Spolu s laminátem s hydrofilní neporézní membránou byly podle klasifikace propustnosti vodních par vyhodnoceny jako materiály s velmi dobrou propustností, materiál s mikroporézním zátěrem byl podle této klasifikace vyhodnocen jako materiál s dobrou propustností vodních par. Materiál s hydrofilní neporézní membránou a materiál s mikroporézním zátěrem dopadly naopak nejlépe při zkoušce prodyšnosti vzduchu, kde materiály s nanovláknennou membránou takto dobrých hodnot nedosáhly. Ve zkoušce hydrostatické odolnosti dosáhly výborných hodnot materiály s nanovláknennou membránou, srovnatelné s nimi byly hodnoty konkurenčního materiálu s hydrofilní neporézní membránou, naopak velmi špatnou hydrostatickou odolnost vykázal materiál s mikroporézním zátěrem. Rozdílných vlastností dosáhly materiály také při zkoušce odolnosti v oděru. Povrch konkurenčních materiálů se leštil a potisk se smazával, oproti tomu u vzorků s nanovláknennou membránou došlo k oděru samotné membrány a potisk narušen nebo odřen nebyl.

Odlišnosti ve výsledcích hodnocených zkoušek jsou dány použitou membránou v laminátech, jejich odlišnou konstrukcí nebo odlišným způsobem spojení vrchové textilie s membránou. U konkurenčních materiálů je z výsledků zkoušek odolnosti v oděru a snímků z rastrovacího mikroskopu patrné, že potisk plní pouze designovou funkci, neplní funkci ochrannou. Naopak ochranná vrstva, pomocí potisku u nanovláknenné membrány, byla tvořena za účelem ochrany membrány při namáhání a zároveň zachování jejích specifických vlastností.

Nános barviva na nanovláknenné membráně požadovaný efekt nepřinesl, ale myslím si, že by odolnost bylo možné zvýšit vhodným rastrováním potisku. Další směřování této práce vidím v definování rozmístění potisku na nanovláknenné membráně.



## Použitá literatura

- [1] HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash. Handbook of technical textiles. Bolton, UK: CRC Press, Woodhead, 2000. 576 s. ISBN 1 85573 385 4.
- [2] MATTILA H. R., Intelligent textiles and clothing. Vyd. 1. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd., CRC Press LLC, 2006. ISBN 13:978-1-84569-005-2.
- [3] BRZEZINSKI, Stefan, et al. Structure and properties of microporous polyurethane membranes designed for textil-polymeric composite systems. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2005, 13, s. 53-58.
- [4] HLOCH, S., et al. Struktura, vlastnosti, diagnostika a technologie textilií. Vyd. 1. Prešov: Vydavatelství Michala Vaška, 2006. ISBN 80-8073-668-5.
- [5] HES, Luboš; SLUKA, Petr. Úvod od komfortu textilií. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0.
- [6] KNÍŽEK, Roman. Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. 39 s. ISBN 978-80-7494-012-5.
- [7] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. Oděvní materiály. Vyd. 1. Liberec: TU Liberec, 2003. 221 s. ISBN 80-7083682-2.
- [8] HAVELKA, Antonín; KŮS, Zdeněk. *International Journal of Clothing Science and Technology*. The transport phenomena of semi-permeable membrane for sport cloth. UK: Emeral Group Publishing Limited, 0955-6222, 2011
- [9] KRYŠTŮFEK, J.; MACHAŇOVÁ, D.; ODVÁRKA, J.; PRÁŠIL, M. Technologie zušlechťování. Vyd. 1. Liberec: TU Liberec, 2002. 117 s. ISBN 80-7083-560-5.
- [10] PRÁŠIL, M.; ŠAŠKOVÁ, J. Potiskování textilií. Vyd. 1. Liberec: TU Liberec, 2008. 66 s. ISBN 978-80-7372-330-9.
- [11] ČSN EN 31092. Textilie – Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelné odolnosti a odolnosti vyhřívanou destičkou). Praha: Český normalizační institut, 1998. 16 s. Třídící vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení znak 80 0819.
- [12] ČSN EN ISO 9237. Textilie – Zjišťování prodyšnosti plošných textilií. Praha: Český normalizační institut, 1996. 12 s. Třídící znak 80 0817.
- [13] ČSN EN 20811. Stanovení odolnosti proti pronikání vody – zkouška tlakem vody. Praha: Český normalizační institut, 1994. 7 s. Třídící znak 80 0818.

- [14] ČSN EN ISO 12947-2. Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 2: Zjišťování poškození vzorku. Praha: Český normalizační institut, 1999. 16 s. Třídící znak 80 0846.
- [15] Katedra oděvnictví [online]. DaVe & KaZe 2009, [cit. 2014-11-5]. Dostupné z: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/MARTINDALE.pdf>
- [16] Messe Friedrichshafen GmbH [online]. Columbus Interactive GmbH, [cit. 2014-26-2]. Dostupné z: <http://www.outdoor-show.com/od-en/visitors-news/textile-trends-in-2013.php>
- [17] Montane® [online]. Copyright Montane®, [cit. 2014-26-2]. Dostupné z: <http://www.montane.co.uk/about/montane-profile>
- [18] Svět outdooru [online]. Copyright 2013, [cit. 2014-4-3]. Dostupné z: <http://www.svetoutdooru.cz/rady/vite-co-si-oblekate-i-/>
- [19] Alibaba.com [online] Copyright © 1999-2014 Alibaba.com, [cit. 2014-3-5]. Dostupné z: [http://everest-textile.en.alibaba.com/product/558735167-213501554/EVEREST\\_Multi\\_Functional\\_Membrane\\_Ever\\_NSH.html](http://everest-textile.en.alibaba.com/product/558735167-213501554/EVEREST_Multi_Functional_Membrane_Ever_NSH.html) 3/5
- [20] Trekking [online]. 2. 5. 2013, [cit. 2014-6-3]. Dostupné z: <http://www.trekking.txt.cz/clanky/108710/nova-technologie-n/>
- [21] Add Sport [online]. Addsport.cz, [cit. 2104-6-3]. Dostupné z: [http://www.addsport.cz/aktuality/\\_zobraz=jak-spravne-vybrat-a-vrstvit-obleceni-pro-outdoor-aktivitu](http://www.addsport.cz/aktuality/_zobraz=jak-spravne-vybrat-a-vrstvit-obleceni-pro-outdoor-aktivitu)
- [22] Toray Industries, Inc. [online]. Copyright 2013 Toray Industries, Inc, [cit. 2014-17-4]. Dostupné z: [http://www.torayentrant.com/dermizax/der\\_001.html](http://www.torayentrant.com/dermizax/der_001.html)
- [23] Textile Innovation Knowledge Platform [online]. Copyright 2014 Textile Centre of Excellence, [cit. 2014-18-4]. Dostupné z: <http://www.tikp.co.uk/knowledge/technology/coating-and-laminating/laminating/>
- [24] Tilak, a.s, [online]. [cit. 2014-19-4]. Dostupné z: <http://www.tilak.cz/cs/page/Materi%C3%A1ly>
- [25] Global Sources [online]. Copyright 2014 Trade Media Holdings Ltd., [cit. 2014-19-4]. Dostupné z: <http://www.globalsources.com/gsol/I/Breathable-waterproof/p/sm/1070602532.htm#1070602532>
- [26] Textile Learner [online]. Copyright 2013 Textile Learner, [cit. 2014-21-4]. Dostupné z: [http://textilelearner.blogspot.cz/2011/07/textile-printing-what-is-textile\\_6758.html](http://textilelearner.blogspot.cz/2011/07/textile-printing-what-is-textile_6758.html)

- [27] Motorrad [online]. Copyright Motor Presse Stuttgart GmbH & Co., [cit. 2014-21-4]. Dostupné z:  
<http://www.motorradonline.de/motorradbekleidung/klimamembranen-als-liner-oder-laminat/71429>
- [28] GAMIsport-jeans s.r.o. [online]. Copyright 2012 GAMISPORT, [cit. 2104-27-4]. Dostupné z: <http://www.gamisport.cz/s/membrany-gore-tex/>
- [29] Wikipedie [online]. 3. 5. 2014, [cit. 2104-2-5]. Dostupné z:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Potiskov%C3%A1n%C3%AD\\_textili%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Potiskov%C3%A1n%C3%AD_textili%C3%AD)
- [30] Dressed Down [online]. Copyright Dressed Down, [cit. 2104-2-5]. Dostupné z:  
<http://dressed-down.com/blog/2013/5/15/intro-to-techwear-part-4-the-glossary>
- [31] HORIZONT KP s.r.o. [online]. Copyright 2007 - 2014 Horizont KP s.r.o., [cit. 2104-8-5]. Dostupné z: <http://www.horizontkp.cz/textilni-barvy/plastizolove/texiplast-7000-op.html>
- [32] Nanoprotex [online]. Copyright 2012 Nanoprotexeu, [cit. 2104-10-5]. Dostupné z:  
<http://www.nanoprotex.eu/>
- [33] Kunshan Sunshine Textile Co., Ltd. [online]. [cit. 2104-10-5]. Dostupné z:  
<http://sunshinetex.texindex.com/>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Princip funkčního oblečení [5].....	14
Obrázek 2: Princip membrány [19].....	18
Obrázek 3: Povrch membrány Gore-Tex a) [20], příčný řez membránou Gore-Tex b) [21] .....	19
Obrázek 4: Povrch mikroporézní PU membrány a), řez mikroporézní PU membránou b) [3] .....	20
Obrázek 5: Povrch nanovláknenné membrány a), řez nanovláknennou membránou b) [Vlastní snímky].....	20
Obrázek 6: Schéma amorfní oblasti a) [1], prostup vodní páry PU membránou [22] ....	21
Obrázek 7: Povrch hydrofilní PU membrány a), řez hydrofilní PU membránou b) [Vlastní snímky].....	22
Obrázek 8: Schéma dvouvrstvého laminátu [22] .....	23
Obrázek 9: Schéma dvouvrstvého laminátu s volně vloženou podšívkou [28].....	24
Obrázek 10: Potisk na PU membráně a) [vlastní snímek], schéma dvou a půlvrstvého laminátu b) [30].....	25
Obrázek 11: Schéma třívrstvého laminátu [28] .....	25
Obrázek 12: Schéma volně vložené membrány mezi textilními materiály (Z-liner) [27] .....	26
Obrázek 13: Postup obrazové analýzy [Vlastní snímky] .....	33
Obrázek 14: Postup obrazové analýzy [Vlastní snímky] .....	34
Obrázek 15: Vzor mřížky s 20 % zakrytím a), s 30 % zakrytím b), s 40 % zakrytím c) [Vlastní snímky].....	35
Obrázek 16: Povrch nanovláknenné membrány zvětšený 50x a), povrch nanovláknenné membrány zvětšený 2000x b), řez nanovláknennou membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky].....	37
Obrázek 17: Povrch nanovláknenné membrány zvětšený 30x a), povrch nanovláknenné membrány zvětšený 2000x b), řez nanovláknennou membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky].....	38
Obrázek 18: Povrch nanovláknenné membrány zvětšený 30x a), povrch nanovláknenné membrány zvětšený 2000x b), řez nanovláknennou membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky].....	39

Obrázek 19: Povrch nanovláknenné membrány zvětšený 30x a), povrch nanovláknenné membrány zvětšený 2000x b), řez nanovláknennou membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky].....	40
Obrázek 20: Povrch membrány zvětšený 30x a), povrch membrány zvětšený 2000x b), řez membránou zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky].....	41
Obrázek 21: Povrch zátěru zvětšený 30x a), povrch zátěru zvětšený 2000x b), řez zátěrem zvětšený 1000x c) [Vlastní snímky].....	42
Obrázek 22: Přístroj PERMETEST [Vlastní snímek].....	43
Obrázek 23: Přístroj TEXTTEST FX 3300 [Vlastní snímek].....	45
Obrázek 24: Přístroj SDL Atlas M018 [Vlastní snímek] .....	46
Obrázek 25: Přístroj SDL Atlas M235 [15].....	47
Obrázek 26: Odolnost v oděru po 50 otáčkách [Vlastní snímek] .....	54
Obrázek 27: Odolnost v oděru po 100 otáčkách [Vlastní snímek] .....	54
Obrázek 28: Odolnost v oděru po 150 otáčkách [Vlastní snímek] .....	54
Obrázek 29: Odolnost v oděru po 200 otáčkách [Vlastní snímek] .....	54
Obrázek 30: Odolnost v oděru po 1500 otáčkách a), po 2000 otáčkách b) [Vlastní snímek] .....	60
Obrázek 31: Odolnost v oděru po 3000 otáčkách a), po 4000 otáčkách b) [Vlastní snímek] .....	60

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Klasifikace propustnosti textilií pro vodní páry [5].....	15
Tabulka 2: Výška vodního sloupce pro různé outdoorové aktivity [18].....	16
Tabulka 3: Výsledky obrazové analýzy konkurenčních materiálů .....	34
Tabulka 4: Charakteristiky jednotlivých materiálů.....	36
Tabulka 5: Jednofaktorová ANOVA pro výparný odpor .....	49
Tabulka 6: Jednofaktorová ANOVA pro prodyšnost vzduchu.....	50
Tabulka 7: Jednofaktorová ANOVA pro hydrostatickou odolnost.....	52
Tabulka 8: Jednofaktorová analýza rozptylu pro výparný odpor .....	55
Tabulka 9: Jednofaktorová analýza rozptylu pro prodyšnost vzduchu .....	57
Tabulka 10: Jednofaktorová analýza rozptylu pro hydrostatickou odolnost.....	58

## Seznam grafů

Graf 1: Mnohonásobné srovnávání výparného odporu .....	49
Graf 2: Mnohonásobné srovnávání prodyšnosti vzduchu .....	51
Graf 3: Mnohonásobné srovnávání hydrostatické odolnosti .....	52
Graf 4: Mnohonásobné srovnávání výparného odporu .....	56
Graf 5: Mnohonásobné srovnávání prodyšnosti vzduchu .....	57
Graf 6: Mnohonásobné srovnávání hydrostatické odolnosti .....	59

## **Seznam příloh**

Příloha A: Výparný odpor

Příloha B: Prodyšnost vzduchu

Příloha C: Hydrostatická odolnost



## Příloha A: Výparný odpor

Název zkoušky: Výparný odpor	Klimatické podmínky: T= 22,6°C, RH=37 %
Norma: ČSN EN 31092	Zkušební plocha: 20 cm <sup>2</sup>
Zkušební přístroj: Permetest	Počet měření: 10
Vypracovala: Anna Papežová	

Výparný odpor [m <sup>2</sup> ·Pa·W <sup>-1</sup> ]						
	Procentuální zakrytí plochy potiskem					
Měření č.	0%	20%	30%	40%	29,5%	52%
1	1,7	2,6	2,9	3,9	5,1	7,6
2	1,9	2,5	3,4	3,7	4,6	7,9
3	1,5	2,7	2,9	3,8	5,3	8,1
4	1,5	2,2	2,9	3,9	5,7	8,3
5	1,5	2,5	2,8	4	6,3	8,2
6	1,7	2,6	3,2	3,8	6,1	7,7
7	1,7	2,3	2,9	3,7	5,9	7,8
8	1,6	2,5	3,2	3,9	5,8	8
9	1,8	2,2	2,8	3,8	4,6	7,7
10	1,8	2,4	3,1	3,7	4,7	8,1
Průměr	1,67	2,45	3,01	3,82	5,41	7,94
Minimum	1,5	2,2	2,8	3,7	4,6	7,6
Maximum	1,9	2,7	3,4	4	6,3	8,3
Směrodatná odchylka	0,142	0,172	0,202	0,103	0,638	0,237
Variační koeficient	8,492	7,004	6,727	2,704	11,802	2,980
Int. spolehlivosti -95%	1,569	2,327	2,865	3,746	4,953	7,771
Int. spolehlivosti +95%	1,771	2,573	3,155	3,894	5,867	8,109

## Příloha B: Prodyšnost vzduchu

Název zkoušky: Prodyšnost vzduchu	Klimatické podmínky: T= 22,5°C, RH=38 %
Norma: ČSN EN ISO 9237	Zkušební plocha: 20 cm <sup>2</sup>
Zkušební přístroj: FX3300	Počet měření: 10
Vypracovala: Anna Papežová	Tlakový spád: 100 Pa

Prodyšnost vzduchu [l/m <sup>2</sup> /s]						
	Procentuální zakrytí plochy potiskem					
Měření č.	0%	20%	30%	40%	29,5%	52%
1	3,86	3,48	3,18	2,45	0,11	0,18
2	3,83	3,46	3,15	2,56	0,12	0,20
3	4,13	3,58	3,11	2,39	0,11	0,20
4	4,23	3,55	3,31	2,69	0,12	0,19
5	4,24	3,45	3,39	2,65	0,11	0,20
6	4,01	3,5	3,21	2,43	0,12	0,20
7	4,05	3,39	3,17	2,68	0,11	0,19
8	4,09	3,4	3,1	2,45	0,11	0,19
9	4,06	3,48	3,11	2,45	0,12	0,21
10	4,16	3,4	3,07	2,49	0,11	0,19
Průměr	4,07	3,47	3,18	2,52	0,11	0,20
Minimum	3,83	3,39	3,07	2,39	0,11	0,18
Maximum	4,24	3,58	3,39	2,69	0,12	0,21
Směrodatná odchylka	0,138	0,063	0,101	0,112	0,004	0,006
Variační koeficient	3,402	1,830	3,166	4,448	3,364	3,301
Int. spolehlivosti -95%	3,967	3,424	3,108	2,444	0,110	0,191
Int. spolehlivosti +95%	4,165	3,514	3,252	2,604	0,116	0,200

## Příloha C: Hydrostatická odolnost

Název zkoušky: Hydrostatická odolnost	Klimatické podmínky: T= 22,5 °C, RH= 38 %
Norma: ČSN EN 20811	Zkušební plocha: 100 cm <sup>2</sup>
Zkušební přístroj: SDL ATLAS M018	Počet měření: 3
Vypracovala: Anna Papežová	

Hydrostatická odolnost [mm]						
	Procentuální zakrytí plochy potiskem					
Měření č.	0%	20%	30%	40%	29,50%	52%
1	16890	16790	17050	16720	15300	4420
2	17250	16950	16900	17200	14920	4210
3	17050	17120	17260	16990	15140	4350
Průměr	17063	16953	17070	16970	15120	4327
Minimum	16890	16790	16900	16720	14920	4210
Maximum	17250	17120	17260	17200	15300	4420
Směrodatná odchylka	180,4	165,0	180,8	240,6	190,8	106,9
Variační koeficient	1,1	1,0	1,1	1,4	1,3	2,5
Int. spolehlivosti -95%	16615,3	16543,4	16620,8	16372,3	14646,1	4061,0
Int. spolehlivosti +95%	17511,4	17363,3	17519,2	17567,7	15593,9	4592,3